Expériences de culture de l'algue brune *Saccharina longicruris* en 2007 : essais en bassin et en mer au large de Paspébiac et de Grande-Rivière (Québec)

Louise Gendron et Éric Tamigneaux

Direction régionale des Sciences
Pêches et Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
850 route de la Mer
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

2008

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2820

Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada

Canada

Rapport technique canadien des

sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports techniques contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui ne sont pas normalement appropriés pour la publication dans un journal scientifique. Les rapports techniques sont destinés essentiellement à un public international et ils sont distribués à cet échelon. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques du ministère des Pêches et des Océans, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports techniques peuvent être cités comme des publications intégrales. Le titre exact paraît au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports techniques sont indexés dans la base de données *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Les numéros 1 à 456 de cette série ont été publiés à titre de rapports techniques de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 457 à 714 sont parus à titre de rapports techniques de la Direction générale de la recherche et du développement, Service des pêches et de la mer, ministère de l'Environnement. Les numéros 715 à 924 ont été publiés à titre de rapports techniques du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 925.

Les rapports techniques sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement d'origine dont le nom figure sur la couverture et la page du titre. Les rapports épuisés seront fournis contre rétribution par des agents commerciaux.

Canadian Technical Report of

Fisheries and Aquatic Sciences

Technical reports contain scientific and technical information that contribute to existing knowledge but that are not normally appropriate for primary literature. Technical reports are directed primarily toward a worldwide audience and have an international distribution. No restriction is placed on subject matter, and the series reflects the broad interests and policies of the Department of Fisheries and Oceans, namely, fisheries and aquatic sciences.

Technical reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is indexed in the data base *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Numbers 1-456 in this series were issued as Technical Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 457-714 were issued as Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Research and Development Directorate Technical Reports. Numbers 715-924 were issued as Department of Fisheries and the Environment, Fisheries and Marine Service Technical Reports. The current series name was changed with report number 925.

Technical reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page. Out-of-stock reports will be supplied for a fee by commercial agents

Rapport technique canadien
des sciences halieutiques et aquatiques 2820

2008

Expériences de culture de l'algue brune *Saccharina longicruris* en 2007 : essais en bassin et en mer au large de Paspébiac et de Grande-Rivière (Québec)

Louise Gendron et Éric Tamigneaux [1]

Direction régionale des Sciences
Pêches et Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
850, route de la Mer
Mont-Joli (Québec)
G5H 3Z4

1 Halieutec, CCTTP, Collège de la Gaspésie et des Îles, Grande-Rivière, QC, G0C 1V0

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2008
No. de cat. Fs 97-6/2820F ISSN 0706-6570

On devra citer la publication comme suit :

Gendron, L. et E. Tamigneaux 2008. Expériences de culture de l'algue brune *Saccharina longicruris* en 2007 : essais en bassin et en mer au large de Paspébiac et de Grande-Rivière (Québec). Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2820: x+48 p.

TABLE DES MATIÈRES

Liste des Tableaux v
Liste des Figures vii
Résumé ix
Abstract x
1.0 Introduction 1
2.0 Matériel et Méthodes 3
2.1 Production des plantules 3
2.2 Expérience sur la densité 6
2.2.1. Manipulations de la densité 6
2.2.2. Échantillonnage 6
2.2.3 Analyse des données 7
2.3 Culture en mer 7
2.3.1 Filières 7
2.3.2 Calendrier des activités de culture 10
2.3.3 Échantillonnage 11
2.3.4 Effet de la profondeur 12
2.3.5 Accroissement linéaire 12
3.0 Résultats 12
3.1 Développement des plantules 12
3.2 Expérience sur la densité 13
3.2.1 Densité des plants 13
3.2.2. Taille des plants 15
3.3 Culture en mer 19
3.3.1 Variables environnementales aux sites de culture 19
3.3.2 Densité des plants 22
3.3.3 Taille des plants 24
3.3.4 Biomasse et rendements 27
3.3.5 Effet de la profondeur 29
3.3.6 Accroissement des frondes 31
3.3.7 Apparence des algues 33

3.3.8 Épibiontes 33
4.0 Discussion 35
4.1. Contrôle de la densité des plants pendant la culture en bassin 35
4.2 Culture en mer 36
4.2.1 Densité 36
4.2.2 Taille et accroissement des frondes 37
4.2.3 Rendements et calendrier de culture 38
4.2.4 Effet de la profondeur 40
4.2.5 Apparence des algues – coloration et colonisation 41
4.3 Caractéristiques environnementales 42
5.0 Conclusion et Recommandations 44
6.0 Remerciements 45
7.0 Références 45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Calendrier des activités de culture à Grande-Rivière en 2007 10

Tableau 2. Calendrier des activités de culture à Paspébiac en 2007 11

Tableau 3. Nombre moyen (±erreur-type) de plantules de laminaires par segment de ficelle de 5 cm pour chacun des groupes de densité (Témoin, Intermédiaire et Faible) de décembre 2006 à mars 2007. (Le nombre de jours après l'ensemencement est indiqué entre parenthèses). Les colonnes partageant la même lettre (a, b ou c) et les lignes partageant le même chiffres (1, 2 ou 3) ne sont pas différents significativement ($p < 0,05$) 14

Tableau 4. Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Période et Densité) sur la densité des plants (nombre/ficelle de 5 cm) 14

Tableau 5. Longueur (mm) des frondes de laminaires (moyenne ± erreur-type) pour chacun des groupes de densité (Témoin, Intermédiaire et Faible) de décembre 2006 à mars 2007. (Le nombre de jours après l'ensemencement est indiqué entre parenthèses). Les valeurs des colonnes partageant la même lettre (a, b ou c) et des lignes partageant le même chiffres (1, 2 ou 3) ne sont pas différents significativement ($p < 0,05$) 16

Tableau 6. Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Période et Densité) sur la longueur des plants (nombre/ficelle de 5 cm) 17

Tableau 7. Nombre moyen (± erreur-type) de plants de laminaires par segment de ficelle de 5 cm sur la filière de Grande-Rivière, entre le 11 avril et le 9 novembre 2007 22

Tableau 8. Nombre moyen (± erreur-type) de plants de laminaires par segment de ficelle de 5 cm sur la filière de Paspébiac, entre le 30 avril et le 29 novembre 2007 23

Tableau 9. Longueur (cm) moyenne (± erreur-type) des frondes de laminaires sur la filière de Grande-Rivière, entre le 11 avril et le 9 novembre 2007 24

Tableau 10. Longueur (cm) moyenne (± erreur-type) des frondes de laminaires sur la filière de Paspébiac, entre le 30 avril et le 29 novembre 2007 24

Tableau 11. Biomasse (g) moyenne (± erreur-type) de laminaires par segment de ficelle de 5 cm sur la filière de Grande-Rivière, entre le 11 avril et le 9 novembre 2007 27

Tableau 12. Biomasse (g) moyenne (± erreur-type) de laminaires par segment de ficelle de 5 cm sur la filière de Paspébiac, entre le 30 avril et le 29 novembre 2007 28

Tableau 13. Nombre moyen de plants de laminaires par segment de ficelle de 5 cm à différentes profondeurs sur la corde verticale de Paspébiac, entre le 30 avril et le 21 novembre 2007 29

Tableau 14. Longueur (cm) moyenne (±erreur-type) des frondes des laminaires sur la corde verticale de Paspébiac, entre le 30 avril et le 21 novembre 2007 30

Tableau 15. Biomasse (g) de laminaires par segment de ficelle de 5 cm sur la corde verticale de Paspébiac, entre le 30 avril et le 21 novembre 2007. 30

Tableau 16. Accroissement linéaire moyen (cm/jour) des frondes de laminaires sur la filière de Grande-Rivière, pour quatre intervalles de temps entre le 11 avril et le 9 novembre 2007 et pour des frondes colonisées par *M. membranacea* (avec bryo)..... 32

Tableau 17. Accroissement linéaire moyen (cm/jour) des frondes de laminaires sur la filière de Paspébiac, pour trois intervalles de temps entre le 30 avril et le 29 novembre 2007 32

Tableau 18. Accroissement linéaire moyen (cm/jour) des frondes de laminaires à cinq profondeurs sur la corde verticale de Paspébiac, pour quatre intervalles de temps entre le 30 avril et le 16 octobre 2007..... 32

Tableau 19. Comparaison des calendriers de culture, de la taille à la mise en mer et des rendements à la récolte pour différentes espèces de laminaires cultivées dans l'hémisphère nord. 39

Tableau 20. Valeurs optimales, limite supérieure et limite inférieure pour différents paramètres du milieu qui influencent la croissance et la survie du sporophyte et du gamétophyte de *S. longicruris*..... 43

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Collecteurs de spores utilisés à l'automne 2006 composés de ficelles de nylon de 3 mm de diamètre sur un support cylindrique de PVC 4

Figure 2. Montage des cordes dans un bassin de l'ÉPAQ à Grande-Rivière à l'automne 2006 et l'hiver 2007 5

Figure 3. Segments de 5 cm de ficelle de nylon à différentes densités: A) Témoin, B) Intermédiaire et C) Faible 6

Figure 4. Sites maricoles A) de Grande-Rivière et B) de Paspébiac. Les profondeurs sont en brasses à Grande-Rivière et en mètres à Paspébiac 8

Figure 5. Schéma des filières de laminaires A) à Grande-Rivière et B) à Paspébiac montrant les six cordes-tuteurs sur lesquelles étaient attachées les cordes supportant les algues 9

Figure 6. Développement microscopique des sporophytes, A) forme effilée observée environ 20 jours après l'ensemencement B) formes irrégulières et C) dépigmentation observées 38 jours après l'ensemencement 13

Figure 7. Apparence A) des ficelles 38 jours après l'ensemencement et B) d'un individu d'environ 6 mm. Les frondes des plantules atteignent 3 à 7 mm de longueur 13

Figure 8. Nombre moyen (±erreur-type) de plantules de laminaires par segment de 5 cm de ficelle pour chacun des groupes de densité (Témoin, Intermédiaire et Faible) de décembre 2006 à mars 2007, soit 38, 68, 96 et 124 jours après l'ensemencement 15

Figure 9. Longueur (mm) des frondes de laminaires (moyenne±erreur-type) pour chacun des groupes de densité (Témoin, Intermédiaire et Faible) de décembre 2006 à mars 2007, soit 38, 68, 96 et 124 jours après l'ensemencement 16

Figure 10A. Distribution des fréquences de taille (en %) (classes de 1 mm) des frondes de laminaires en décembre 2006 et janvier 2007, 38 et 68 jours après l'ensemencement, pour chacun des groupes de densité 17

Figure 10B. Distribution des fréquences de taille (en %) (classes de 5 mm) des frondes de laminaires en février et mars 2007, 96 et 124 jours après l'ensemencement, pour chacun des groupes de densité 18

Figure 11. Température enregistrée A) sur la filière de culture de Grande-Rivière et B) sur la filière et au bas de la corde verticale de Paspébiac, entre avril et novembre 2007 20

Figure 12. Salinité mesurée A) à la prise d'eau de mer de Grande-Rivière (profondeur 7,3 mètres) et B) sur le site de culture de Paspébiac, entre avril et novembre 2007 21

Figure 13. Concentration (moyenne ± erreur-type) de sels nutritifs azotés (nitrites NO_2 et nitrates NO_3) à Grande-Rivière entre avril et novembre 2007 22

Figure 14. Densité (moyenne ± erreur-type) des plants de laminaires cultivés A) sur la filière de Grande-Rivière et B) sur la filière de Paspébiac entre avril et novembre 2007 23

Figure 15. Longueur (cm) (moyenne ± erreur-type) des frondes de laminaires cultivées A) sur la filière de Grande-Rivière, B) sur la filière de Paspébiac entre avril et novembre 2007 25

Figure 16. Distribution des fréquences de taille (classes de 5 cm) des frondes de laminaires cultivées sur les filières de Grande-Rivière (gauche) et de Paspébiac (droite) entre avril et novembre 2007. La flèche indique la position de la médiane 26

Figure 17. Apparence de laminaires récoltées le 9 novembre 2007 à Grande-Rivière 27

Figure 18. Biomasse humide (moyenne ± erreur-type) des plants de laminaires cultivés A) sur la filière de Grande-Rivière et B) sur la filière de Paspébiac, entre avril et novembre 2007 28

Figure 19. A) Laminaire recouverte de *Membranipora membranacea* (16 octobre 2007, Paspébiac); B) Fronde avec des hydrozoaires (*Tubularia larynx*, flèche) fixés sur une colonie de *M. membranacea*. (16 octobre 2007, Paspébiac); C) Fronde criblée de trous par *Lacuna vincta* (16 octobre 2007, Paspébiac); D) *Onchidoris muricata* (flèche) et groupe d'hydrozoaires attaché sur une fronde couverte de *M. membranipora* (29 novembre 2007, Paspébiac) 34

RÉSUMÉ

Gendron, L. et E. Tamigneaux. 2008. Expériences de culture de l'algue brune *Saccharina longicruris* en 2007 : essais en bassin et en mer au large de Paspébiac et de Grande-Rivière (Québec) Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2820: x+48 p.

Les expériences de culture de l'algue brune *Saccharina longicruris* se sont poursuivies en 2007 pour une deuxième année consécutive. Les travaux réalisés en 2007 ont été planifiés pour tenir compte des recommandations formulées au terme des essais de 2006. Les objectifs étaient 1) de vérifier si au moment de la période de culture en bassin, la croissance des plantules était plus rapide à faible densité; 2) de modifier le calendrier de culture en mer pour éviter la colonisation des frondes par le bryozoaire envahissant *Membranipora membranacea*; 3) de vérifier si l'apparition du bryozoaire était récurrente a Paspébiac; 4) d'étudier l'effet de la profondeur de culture sur les rendements à Paspébiac et 5) d'installer une culture de laminaires à Grande-Rivière afin de comparer les rendements avec ceux de Paspébiac et de voir si le bryozoaire envahissant affectait les algues autant qu'à Paspébiac.

Les travaux réalisés en 2007 ont permis de démontrer qu'une réduction de la densité des plantules au moment de la culture en bassin avait un effet positif significatif sur leur taille. Après une période de trois mois, la taille des algues cultivées à faible densité (3 et 10 fois moins que la densité du groupe contrôle) étaient significativement plus élevée (jusqu'à deux fois). Le fait d'atteindre des tailles plus grandes plus rapidement pourrait permettre un transfert en mer plus rapide et réduire le temps et les coûts de la phase de culture en bassin. En 2007, le transfert en mer des algues a été effectué quelques semaines plus tôt qu'en 2006. Les résultats laissent entrevoir qu'une culture en mer débutée en avril et terminée en août permettrait d'obtenir des rendements intéressants. Il est cependant nécessaire de poursuivre l'exploration de différentes fenêtres temporelles de culture qui seraient ajustées de façon à mieux bénéficier d'une période de croissance accélérée au printemps tout en évitant la colonisation et la destruction des algues par le bryozoaire au cours de l'été. Tout comme en 2006, le bryozoaire a de nouveau causé des dégâts aux algues à Paspébiac. Les algues sur le site de Grande-Rivière ont également été affectées. Le bryozoaire colonise les algues autant en surface qu'en profondeur (11 mètres). Par contre, les algues situées en profondeur sont moins soumises au brassage turbulent par les vagues que celles en surface et l'impact négatif des bryozoaires sur la survie des plants se fait sentir un peu plus tardivement. Les observations préliminaires sur l'effet de la profondeur montrent qu'il serait avantageux d'installer les filières de culture en dessous de cinq mètres de profondeur. En plus d'avoir de bons taux de croissance et des rendements élevés, cette stratégie permettrait de réduire l'érosion, les bris et le détachement des frondes dus à la turbulence en surface et de réduire également les risques que les algues soient soumises à des conditions de température et de salinité défavorables qui sont plus susceptibles d'être rencontrés dans les eaux de surface. Les deux sites de culture étudiés ont des caractéristiques environnementales relativement semblables et sont propices à la culture de *S. longicruris* sur filière. La réduction des sels azotés au cours de l'été amène cependant une réduction temporaire de la croissance.

ABSTRACT

Gendron, L. et E. Tamigneaux. 2008. Expériences de culture de l'algue brune *Saccharina longicruris* en 2007 : essais en bassin et en mer au large de Paspébiac et de Grande-Rivière (Québec) Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2820: x+48 p.

The cultivation experiments of the brown alga *Saccharina longicruris* were pursued in 2007 for a second consecutive year. The work carried out was planned to take into account the recommendations put forward after the 2006 trials. The objectives were to 1) examine if growth of small plants (5 mm) during the phase of tank cultivation was faster at low density; 2) modify the cultivation schedule to avoid frond colonization by the invasive bryozoan *Membranipora membranacea*; 3) determine if the occurrence of the bryozoan is recurrent in Paspébiac; 4) study the effect of depth of culture on yields in Paspebiac and 5) undertake an experiment of kelp cultivation in Grande-Rivière to compare yields with those of Paspébiac and examine if the invasive bryozoan is present and affects algae as it does in Paspébiac.

The 2007 study showed that a reduction of the density of small plants during the tank cultivation phase had a significant positive effect on their size. After a period of three months, the algae grown at low density (3 to 10 times less than the control density) were significantly larger (up to nearly twice). Reaching larger sizes faster could accelerate the transfer at sea, reducing the time and the costs of the tank cultivation phase. In 2007, the transfer of algae at sea was done a few weeks earlier than in 2006. Results suggest that cultivation at sea starting in April and ending in August could help obtain interesting yields. It is however necessary to better explore different temporal schedules that could be adjusted to better benefit from a period of fast growth in spring while avoiding colonisation and destruction of the algae by the bryozoan during the summer months. As in 2006, the bryozoan caused damages to the algae in Paspebiac. Algae in Grande-Rivière were also affected. The bryozoan colonizes the algae in surface as well as in deeper (11 meters) waters. However, algae in deeper waters are less subjected to water turbulence and the impact of bryozoans on plant survival is delayed. Preliminary observations of the effect of depth on algal cultivation suggest that it could be beneficial to set longlines at depths greater than five meters. Besides having good growth rates and high yields, this strategy could help reduce frond erosion, breakage and detachment of fronds caused by surface water turbulence, and to reduce risks that the algae be subjected to less favourable temperature and salinity conditions more susceptible to occur in surface waters. The two sites studied have relatively similar environmental conditions favourable for kelp culture. The reduction of nitrogen salts during summer causes however a temporary slowing of growth.

1.0 INTRODUCTION

Au cours des trente dernières années, des entreprises du Québec ont régulièrement manifesté de l'intérêt pour la récolte, la transformation ou la culture des algues, en mer ou en bassin. Ceci a donné lieu à des études sur la disponibilité des ressources sauvages (Gendron 1983, Gendron 1987, Gendron et Bergeron 1988, Lambert *et al.* 1984, Lavoie *et al.* 1985), à des études de faisabilité (Anonyme 1991, 1993) et à des essais de production de plantules de laminaires en écloserie (Gendron *et al.* 2007, Marsot et Fournier 1992). Quelques exploitations d'algues sauvages se sont développées au cours des dernières décennies mais jusqu'à tout récemment aucune tentative de culture en mer n'avait eu lieu.

En 2005, dans la baie des Chaleurs, l'entreprise Les Gaspésiennes inc. a commencé à produire des fertilisants horticoles à base d'algues récoltées en plongée sous-marine. Cette entreprise de transformation souhaite maintenant étendre ses marchés à l'alimentation humaine et aux cosmétiques. À cette fin, elle souhaite pouvoir s'assurer d'un approvisionnement régulier, étalé sur l'année, avec une qualité reproductible. C'est pourquoi elle s'est lancée en 2006 dans des essais de culture de la laminaire à long stipe (*Saccharina longicruris*[1]) en mer, au large de Paspébiac, en Gaspésie.

Toutes les étapes des premiers essais, à partir de l'ensemencement de ficelles avec des spores issues de plants adultes portant des sores matures, en passant par la préculture en en milieu fermé (écloserie) et la culture des plantules en bassin en milieu ouvert, jusqu'à l'étape de culure en mer sont décrites dans Gendron *et al.* (2007). En général, la production de plantules en écloserie est bien maîtrisée et les essais menés par Gendron *et al.* (2007) et par Halieutec de l'École des pêches et de l'aquaculture du Québec (ÉPAQ) montrent qu'il est possible d'obtenir des jeunes sporophytes de 1 mm après une vingtaine de jours de culture, ce qui est considéré comme étant la taille minimale pour le transfert en mer (Chopin *et al.* 2004, Kaas et Pérez 1990). Une trentaine de jours sont apparus nécessaires pour obtenir des plantules de 5 mm. Au cours des expériences menées en 2006, les plantules issues de l'écloserie ont été maintenues en bassin pendant 5 mois (décembre-avril). Au cours de cette période, la croissance initiale a été rapide et les mortalités ont été négligeables. Par contre, par la suite, il y a eu une réduction importante et spontanée de la densité des plants, qui est passée de plus de 1000 individus à moins de 100 individus par 5 cm de ficelle de culture. Ce phénomène d'auto-réduction est souvent observé, que ce soit dans les cultures de laminaires en bassin ou en mer, et semble inévitable.

Lors de ce premier essai, les plantules avaient été transplantées en mer au mois de mai, à une taille d'environ 5 cm. Plusieurs dispositifs et plusieurs profondeurs de culture avaient alors été testés. Dès le mois d'août 2006, les algues cultivées ont été affectées par un bryozoaire encroûtant (*Membranipora membranacea*) qui a envahi les frondes et les stipes des laminaires. Cette infestation s'est traduite par une réduction de la densité des plants, un ralentissement de la croissance, une augmentation de la fragilité des frondes occasionnant la perte de plants en automne. Ainsi, au moment de la récolte, les

[1] synonyme de *Laminaria longicruris* de la Pylaie (voir www.algaebase.org)

rendements n'ont pas dépassé 1,7 kg par mètre de corde, ce qui reste très faible comparativement aux rendements de 8-20 kg par mètre de corde obtenus dans la Baie de Fundy avec des cultures de *L. saccharina* (Chopin *et al.* 2004, Ridler *et al.* 2006).

Au terme de ces premiers essais, plusieurs recommandations avaient été formulées (Gendron *et al.* 2007) dans le but d'accroître la croissance des plants et de minimiser les impacts du bryozoaire. Les expériences de culture qui ont été menées en 2007 ont pris en compte ces recommandations. Les objectifs étaient les suivants :

- Améliorer la vitesse de croissance en réduisant la densité des plantules au moment de l'étape de la culture en bassin, environ 1 mois après l'ensemencement des ficelles, lorsque les plantules atteignent 5 mm de longueur
- Devancer la date de la mise en mer des plantules à la fin mars et récolter à la fin juillet afin de profiter d'une fenêtre temporelle pendant laquelle le bryozoaire est absent.
- Réinstaller une culture de laminaires sur le même site, à Paspébiac, afin de vérifier si l'occurrence du bryozoaire est récurrente sur le site.
- Tester différentes profondeurs de culture entre la surface et 15 mètres au site de Paspébiac.
- Installer une culture de laminaires à Grande-Rivière afin de comparer les rendements et l'occurrence du bryozoaire avec Paspébiac.

Les hypothèses à vérifier étaient les suivantes :

1. En bassin, les plantules de *S. longicruris* ont une meilleure croissance à faible densité.
2. Une seule saison de croissance en mer, de mars à juillet (mars à décembre en l'absence du bryozoaire) est nécessaire pour obtenir des laminaires de taille commerciale et des biomasses importantes.
3. L'occurrence du bryozoaire varie selon les années à Paspébiac.
4. Les laminaires cultivées à des profondeurs $\geq$ 10 mètres sous la surface échappent à l'infestation par les bryozoaires et génèrent des rendements à la récolte supérieurs à ceux des algues cultivées près de la surface.
5. L'occurrence du bryozoaire varie sur une échelle spatiale entre Paspébiac et Grande-Rivière
6. Les caractéristiques environnementales des sites de Paspébiac et de Grande-Rivière ne sont pas limitants pour la croissance de *S. longicruris*.

2.0 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRODUCTION DES PLANTULES

Le 30 octobre 2006, une vingtaine de frondes de *S. longicruris* > 1,5 m ont été récoltées par un plongeur à l'Île-aux-Hérons (Carleton) et transportées dans une glacière jusqu'au laboratoire de l'École des pêches et de l'aquaculture du Québec (ÉPAQ) à Grande-Rivière. À leur arrivée, les frondes ont été immergées dans des bassins de 227 L (à moitié remplis) alimentés avec de l'eau de mer brute, à 10°C. Ces algues étaient recouvertes par le bryozoaire encroûtant *M. membranacea* sur environ 90% de leur surface. Cependant, elles étaient encore en assez bon état pour émettre des spores en quantité suffisante.

L'ensemencement des ficelles de culture a eu lieu en suivant les protocoles de Pérez *et al.* (1990, 1992). Ainsi, deux semaines après leur arrivée, soit le 10 novembre 2006, quelques sections fertiles d'environ 5 cm^2 ont été découpées dans la partie la plus sombre et épaisse des sores. Tous les fragments ont été brossés avec du papier absorbant pour éliminer les épibiontes. Entre deux brossages, les fragments ont été rincés avec de l'eau de mer stérilisée à l'autoclave. Les fragments de sores ont ensuite été désinfectés en les trempant deux minutes dans une solution d'eau de mer stérile additionnée d'eau de javel (hypochlorite de sodium à 30 mg/litre, final). Ils ont été rincés successivement dans deux bains d'eau de mer stérile différents contenant chacun du dioxyde de germanium (1 mg/l final; inhibiteur de croissance des diatomées). Ensuite, les fragments ont été séchés avec du papier absorbant. Finalement, ils ont été déposés sur une couche de papier absorbant et conservés pendant 6-8 h à l'obscurité dans une chambre froide à 4 °C où ils ont subi un début de déshydratation pour favoriser l'émission des spores.

Après la déshydratation en chambre froide, les fragments ont été plongés dans un bécher de 2 L d'eau de mer stérile à 10-12°C, en pleine lumière avec agitation manuelle pendant 5-30 minutes, afin de provoquer la sporulation. La suspension de spores a ensuite été filtrée sur des tamis de 20 et 10 µm pour éliminer les débris tissulaires et les colloïdes libérés avec les spores. Pour cet essai, il n'y a pas eu d'évaluation de la concentration de spores dans la solution.

Entre temps, des sections de ficelle blanche en fibres de nylon tressées de 3 mm de diamètre et 8 mètres de longueur ont été utilisées comme corde de culture. Des supports cylindriques en PVC lourd et gravé de sillons sur toute leur longueur ont également été préparés. Les ficelles et leurs support de PVC ont été immergés dans de l'eau bouillante pendant 5 h pour les désinfecter et en éliminer toute substance toxique. Ils ont ensuite été rincés pendant 3 h dans de l'eau courante (eau douce déchlorée). La ficelle a été enroulée sur le support de PVC en conservant un espace de 3 mm entre chaque spire. Les cordes sur leurs supports ont ensuite été séchées à l'étuve pendant 48 h à 60° C et entreposées au frais à l'abri de la lumière et de l'humidité jusqu'à utilisation.

Les supports portant les ficelles de culture ont alors été plongés dans la chaudière contenant la solution de spores. Le tout a été maintenu pendant 12 h, à 10°C, sans bullage, pour favoriser la fixation et la germination des spores (Figure 1).

Figure 1. Collecteurs de spores utilisés à l'automne 2006 composés de ficelles de nylon de 3 mm de diamètre sur un support cylindrique de PVC.

Le lendemain, le support cylindrique de PVC a été transféré dans un bac de 50 L d'eau de mer stérile enrichie avec un milieu de culture Guillard F/2 sans silicate (F/2 algae food : www.fritzpet.com). Selon les protocoles décrits par Pérez *et al.* (1990, 1992) des biocides (dioxyde de germanium et kanamycine) ont été ajoutés lors des trois premières semaines de préculture. Ce milieu fermé a été maintenu à une température de 10°C avec une photopériode de 18h:6h (L:N) et sous une intensité lumineuse de 30-40 μmole m^{-2} sec^{-1} de lumière blanche. Après 3 jours de germination, un léger bullage a été ajouté, alimenté avec de l'air stérile ayant barboté dans une solution de sulfate de cuivre à 4%. L'eau du bassin ainsi que le milieu de culture ont été renouvelés à chaque semaine.

Au terme de l'étape de préculture, soit 38 jours après l'ensemencement, les ficelles supportant les nouvelles plantules de laminaires ont été coupées en bouts de 5 cm et enfilées dans les torons de cordes de polypropylène de 12 mm de diamètre, en respectant un espacement de 10 cm entre les bouts de ficelles. Au total, 167 bouts de ficelle ont ainsi été ainsi préparés et les cordages supportant les ficelles ont été tendus dans un bassin maintenu en circuit ouvert avec de l'eau de mer filtrée (20 µm) pendant l'hiver 2006-2007 (Figure 2).

Le bassin d'élevage était situé dans une serre translucide adjacente à l'ÉPAQ et soumis aux variations d'intensité de la lumière externe, les valeurs moyennes de luminosité pour décembre, janvier, février et mars se situaient à 82, 97, 129 et 142 µmole m^{-2} s^{-1} (lumière blanche) respectivement (Quantum meter, Photosynthetic Photon Flux). En raison d'un bris à la thermopompe, l'eau du bassin n'a pas été maintenue à 10°C comme prévu. Ainsi, de décembre 2006 à mars 2007, la température a oscillé entre -0.5 à 5°C. L'ensemble des plantules a été affecté également par ce bris. La salinité s'est maintenue autour de 27-30. Le circuit était relié à d'autres bassins avec des poissons en élevage, ce qui a augmenté la présence de produits azotés dans le milieu. Les valeurs de nitrites et nitrates sont passées d'une moyenne de 12 µmole/L en janvier à près de 50 µmole/L en mars.

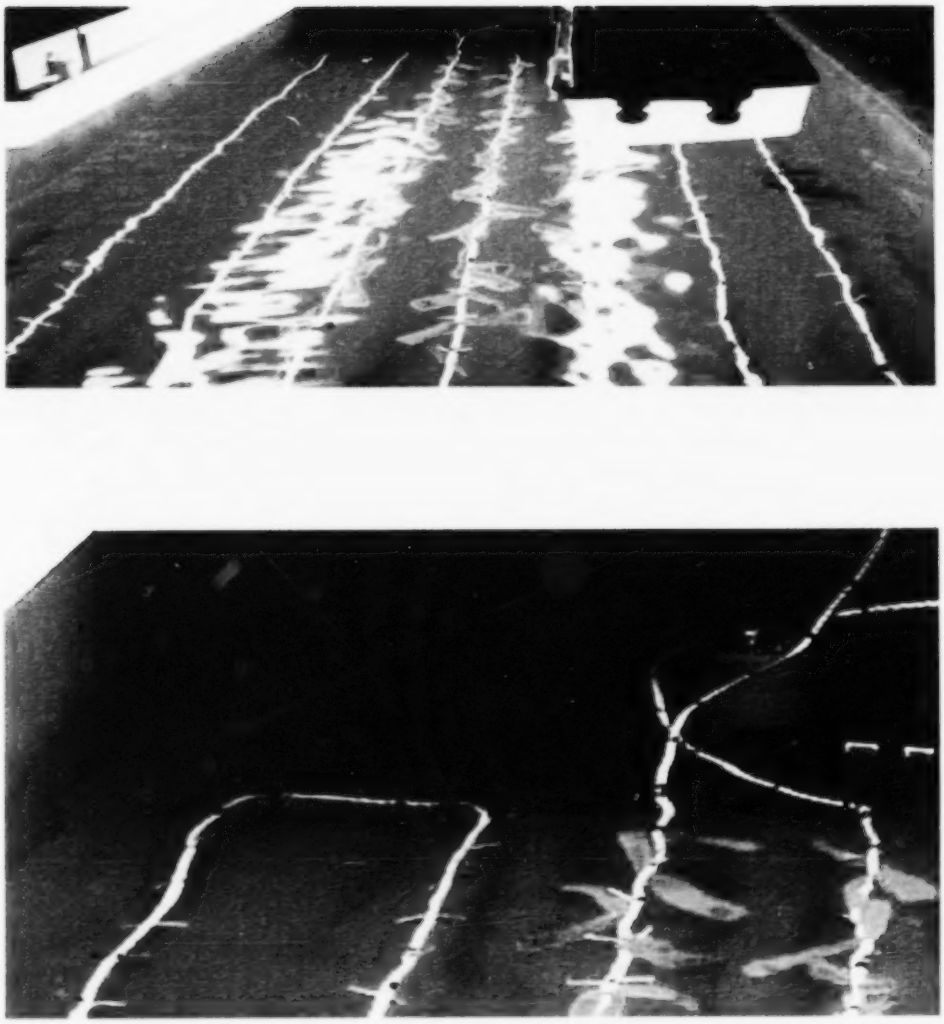


Figure 2. Montage des cordes dans un bassin de l'ÉPAQ à Grande-Rivière à l'automne 2006 et l'hiver 2007.

2.2 EXPÉRIENCE SUR LA DENSITÉ

2.2.1 Manipulations de la densité

Le 18 décembre 2006 (Jour 38 après l'ensemencement), 72 bouts de ficelles de 5 cm ont été sélectionnés parmi les 167 bouts préparés (voir section précédente). Les 72 bouts de ficelle ont été distribués aléatoirement et également au sein de trois traitements de densité. Un premier groupe de 24 ficelles a été manipulé de façon à réduire la densité des plantules au tiers de la densité originale (densité Intermédiaire), un second groupe de 24 ficelles a été manipulé de façon à ramener la densité à environ 75 plantules par bout de 5 cm (densité Faible) et un troisième groupe de 24 ficelles n'a pas été modifié (Témoin) (Figures 3A, B, C). Les manipulations de densité ont été faites manuellement sous un binoculaire à l'aide de pincettes.

A) B) C)

Figure 3. Segments de 5 cm de ficelle de nylon à différentes densités: A) Témoin, B) Intermédiaire et C) Faible.

Après les manipulations de réduction de densité, neufs bouts de ficelle, à raison de trois par groupe de densité, ont été choisis au hasard pour déterminer la taille moyenne et le nombre moyen de sporophytes pour chacun des groupes au début de l'expérience.

2.2.2 Échantillonnage

La densité et la taille des plantules ont été mesurées sur trois bouts de ficelle de 5 cm par groupe de densité (Témoin, Intermédiaire et Faible), choisis aléatoirement, les 17 janvier, 14 février et 14 mars 2007, soit 68, 96 et 124 jours après l'ensemencement, respectivement. Sous le binoculaire, toutes les plantules étaient détachées de la ficelle, comptées et 30 d'entres elles étaient sélectionnées au hasard et mesurées (longueur du stipe , longueur et largeur de la fronde).

2.2.3 Analyse des données

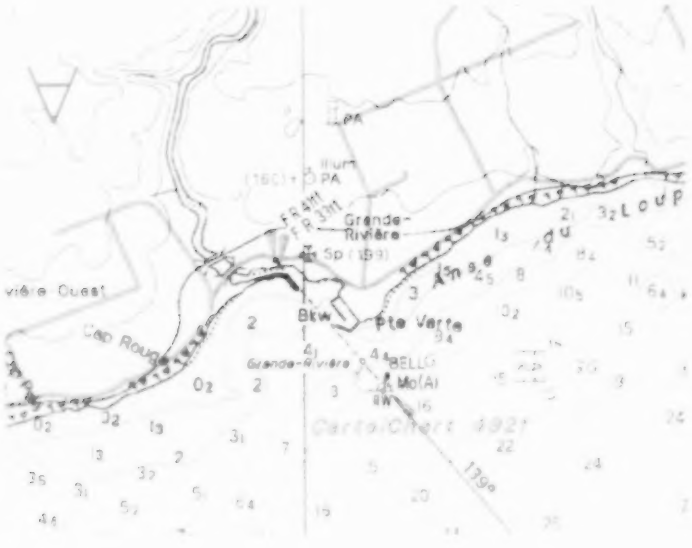
L'évolution de la densité des plantules en fonction du temps a été analysée à l'aide d'une analyse de variance à deux facteurs (période et densité) effectuée avec la procédure GLM (SAS, version 8.2) après que les postulats de normalité des résidus et d'homogénéité des variances aient été validés, suite à une transformation logarithmique des données. Des comparaisons multiples *a posteriori* ont été ont été faites avec le test de LSMeans. Une analyse de variance non paramétrique à deux facteurs basée sur les données transformées en rangs a été utilisée pour examiner l'effet des deux facteurs sur la taille de plants. Des comparaisons multiples ont été faites à l'aide du test de Dunn (Zar 1984).

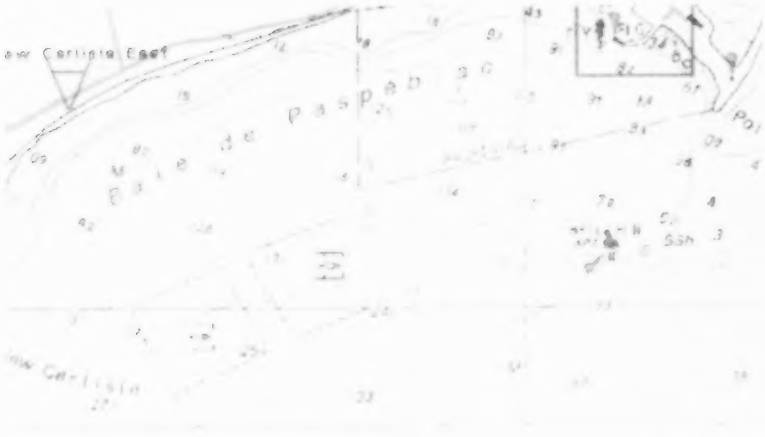
2.3 Culture en mer

2.3.1 Filières

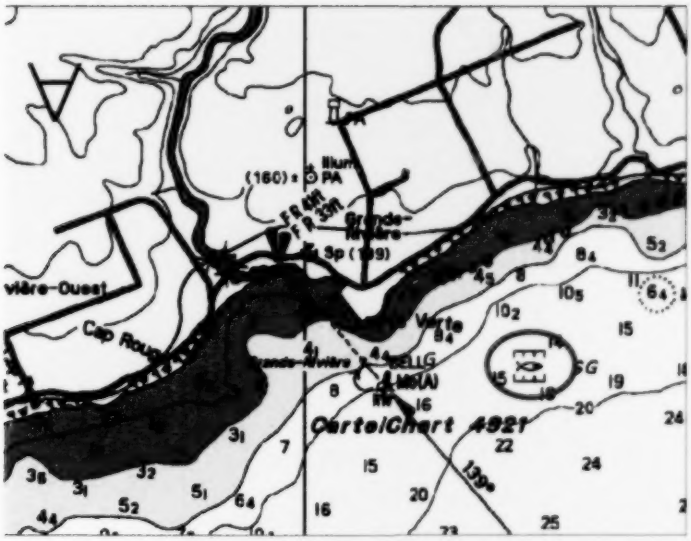
Les cordages supportant les ficelles de laminaires (densités non manipulées) ont été transférés en mer à Grande-Rivière, sur l'aire maricole de l'ÉPAQ et à Paspébiac, sur l'aire maricole de l'entreprise Les Gaspésiennes inc. (Figure 4). Le site de Grande-Rivière (point central 48° 23,215' N et 64° 28,25' W) est considéré comme semi-exposé et est situé à 1 km de la côte avec une profondeur de 38 m et un fond de sable fin parsemé de gravier dépourvu de végétation. Les amarres de la filière des laminaires ont été attachées directement sur une filière pré-existante (mytiliculture expérimentale), dont la ligne maîtresse de 100 m de longueur était immergée horizontalement à 12 m sous la surface. La filière de Paspébiac (coin est, 48° 0,365' N et 65° 16,998' W) est installée dans un secteur considéré comme semi-exposé, située à 1,5 km de la côte avec une profondeur de 15 m et un fond de sable vaseux dépourvu de végétation.

Les filières de subsurface, semblables à celles utilisées en 2006 (Gendron *et al.* 2007) étaient constituées d'une ligne maîtresse de 15 m, tendue horizontalement à une profondeur de 1 m sous la surface (Figure 5). À chaque site, six cordes de 1 m de long portant chacune huit ficelles de 5 cm espacées de 10 cm, ont été attachées avec des colliers de serrage en plastique (Tie-wrap) sur des cordes-tuteurs suspendues verticalement à des intervalles de deux mètres sur la filière. Un lest de 0,5 kg a été attaché à l'extrémité inférieure de chaque tuteur. Le dispositif expérimental visait à maintenir les algues à une profondeur entre un et deux mètres sous la surface.


Grande-Rivière
Pte Verte
Cap Rouge
Grande-Rivière
Carte/Chart 4921
179°


Carlisle East
Carlisle

A)



B)

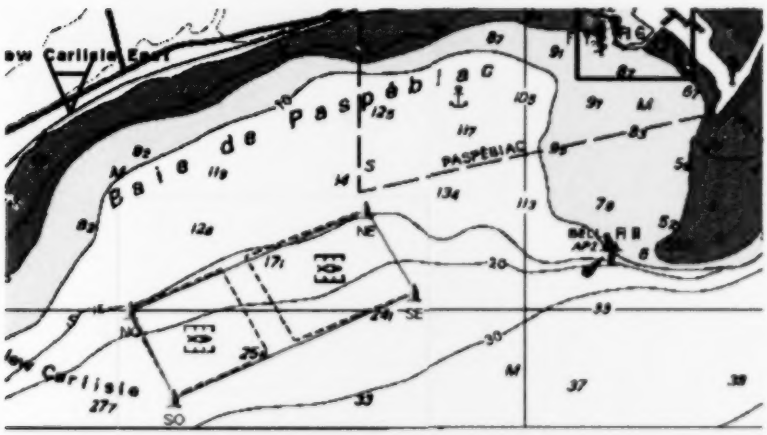


Figure 4. Sites maricoles A) de Grande-Rivière et B) de Paspébiac. Les profondeurs sont en brasses à Grande-Rivière et en mètres à Paspébiac.

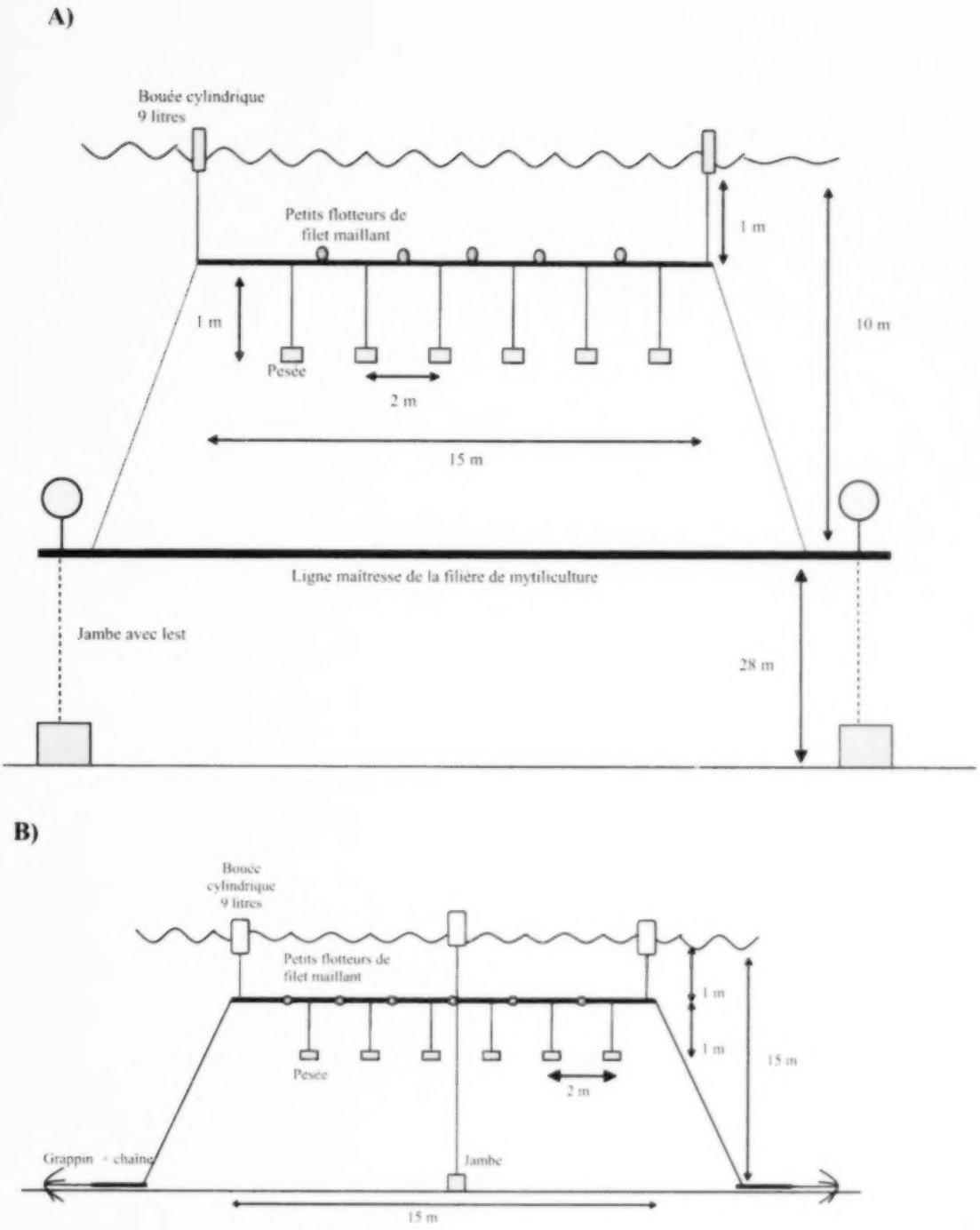


Figure 5. Schéma des filières de laminaires A) à Grande-Rivière et B) à Paspébiac montrant les six cordes-tuteurs sur lesquelles étaient attachées les cordes supportant les algues.

2.3.2 Calendrier des activités de culture

À Grande-Rivière, les laminaires ont été transférées en mer le 11 avril 2007 (Tableau 1). Du 4 au 11 juin 2007, par manque de flottabilité, la filière est descendue progressivement à 30 m. Les algues ont été récupérées rapidement et réinstallées sur une nouvelle filière indépendante, tendue à 1 m sous la surface jusqu'au 3 août. À cette date, des colonies du bryozoaire ont été notées sur les algues. En concertation avec le producteur, il a été décidé de transférer à nouveau les algues sur la première filière repositionnée à 10 m, pour tenter de les préserver le plus longtemps possible. Les dernières algues ont été récoltées le 9 novembre 2007.

Tableau 1. Calendrier des activités de culture à Grande-Rivière en 2007.

Date	Activités	Profondeur des algues
11 avril 2007	Mesure des algues au laboratoire et transfert en mer	1-2 m
7 mai 2007	1er suivi	1-2 m
4 au 11 juin 2007	La filière de mytiliculture descend à 30 m par manque de flottabilité.	21 m
11 juin 2007	Récupération et transfert des algues sur une filière de surface indépendante. 2ième suivi	21 m et ensuite 1-2 m
13 juin 2007	Remplacement d'un tuteur disparu par un nouveau tuteur avec des algues fraîches	1-2 m
5 juillet 2007	3ième suivi	1-2 m
31 juillet 2007	4ième suivi	1-2 m
3 août 2007	Transfert des algues sur la filière de mytiliculture, à 10 m, pour protéger les algues des bryozoaires	11 m
10 octobre 2007	5ième suivi	11 m
9 novembre 2007	Récolte et hivernage du site maricole (6ième suivi)	11 m

À Paspébiac, les laminaires ont été transférées en mer le 10 mai 2007 (Tableau 2). À la fin juillet, des colonies de bryozoaires ont été notées sur les algues. Pour les mêmes raisons que celles évoquées pour Grande-Rivière, la ligne maîtresse a été descendue à 10 m. Les dernières algues ont été récoltées le 29 novembre 2007.

Tableau 2. Calendrier des activités de culture à Paspébiac en 2007.

Date	Activités	Profondeur des algues de la filière
30 avril 2007	Mesure des algues au laboratoire.	
3 mai 2007	Installation de la filière, sans les algues.	
10 mai 2007	Installation des algues sur la corde et la filière.	2 m
12 juin 2007	1er suivi.	2 m
6 juillet 2007	2ième suivi.	2 m
3 août 2007	3ième suivi; filière repositionnée à 10 mètres.	11 m
30 août 2007	4ième suivi.	11 m
16 octobre 2007	5ième suivi.	11 m
29 novembre 2007	Récolte de la filière et hivernage du site (6ième suivi)	11 m

2.3.3 Échantillonnage

L'échantillonnage a eu lieu du 7 mai au 9 novembre à Grande-Rivière et du 12 juin au 29 novembre à Paspébiac. Les plants ont aussi été échantillonnés avant leur transfert en mer, soit les 11 et 30 avril, pour Grande-Rivière et Paspébiac respectivement. À chacun des suivis, trois ficelles de 5 cm supportant les bouquets d'algues étaient récoltées de façon aléatoire et ramenées au laboratoire dans une glacière. À la fin de l'expérience, en novembre, 5 et 6 ficelles ont été analysées à Grande-Rivière et Paspébiac respectivement. Au laboratoire, chaque échantillon était égoutté et les moules attachées aux algues étaient enlevées. Les échantillons étaient ensuite pesés pour déterminer le poids humide total de chaque bouquet d'algues, stipes et crampons inclus. Les algues (> 1 cm) de chaque échantillon étaient ensuite dénombrées et la longueur de chaque fronde était mesurée. La présence et le type d'épibionte ou de prédateur étaient également notés. Lorsque le bryozoaire encroûtant *M. membranacea* a fait son apparition, la surface de chaque fronde couverte par les colonies du bryozoaire a été évaluée pour chacune des algues.

Pendant toute la durée des cultures en mer, un thermographe Hobo® (Hobo 2K Temp data logger, Onset computer corporation) était attaché aux filières. À Paspébiac, la salinité a été mesurée à deux profondeurs (0,5 et 10 m) avec un thermosalinomètre de terrain YSI 85-10. À Grande-Rivière, les enregistrements quotidiens de la salinité de l'eau provenant de la prise d'eau de mer du Centre aquacole marin de Grande-Rivière (CAMGR) localisée à une profondeur de 7,3 m, à environ 1600 m du site de culture, ont été utilisées. Des échantillons d'eau ont été prélevés à Grande-Rivière à une profondeur de 2 m avec une bouteille Niskin. Au moment du prélèvement (< 30 minutes), l'eau a été filtrée au moyen d'une seringue à

travers un filtre de porosité 0,2 µm. Trois sous-échantillons étaient conservés dans un frigo à – 80° C, dans des cryovials de 4 ml, pour analyse ultérieure des concentrations de sels minéraux dissous (nitrite et nitrate) à l'IML.

2.3.4 Effet de la profondeur

L'effet de la profondeur n'a pu être examiné que sommairement et sur une base opportuniste, en utilisant ce qui restait d'algues et de cordages dans les bassins. Une corde verticale a été placée à Paspébiac, à 50 m de distance de la filière principale. Cette corde était reliée à une bouée pressurisée sphérique (diamètre de 12 pouces) en surface et ancré au fond avec un bloc de béton (60 kg) et un grappin. Cinq segments de cordes de 1 m portant des laminaires ont été attachés à intervalles réguliers le long de la corde, soit 2-3 m, 4-5 m, 6-7m, 8-9 m et 10-11 m de profondeur. Chaque segment de corde portait entre cinq et huit ficelles de 5 cm insérées entre ses torons et espacées de 10 cm. En raison du nombre limité de ficelles, il n'a pas été possible de faire de réplication. De plus, une seule ficelle était prélevée à chaque suivi, à trois, quatre ou cinq profondeurs différentes. Un thermographe Hobo® a été attaché au bas de la corde, à 12 m de profondeur.

2.3.5 Accroissement linéaire

Entre avril et novembre, la croissance linéaire des frondes de laminaire a été mesurée à 13 reprises à Grande-Rivière et 54 reprises à Paspébiac, pour des périodes allant de 22 à 74 jours. Des frondes de plus de 50 cm étaient marquées d'un trou dans la partie centrale de la fronde, à 20 cm au dessus du point de jonction du stipe et de la fronde (Gendron 1989, Gendron *et al.* 2007). Pour différencier les dates de perçage, plusieurs trous (2 ou 3) disposés en ligne ou en triangle étaient utilisés. Au laboratoire, lors de l'analyse des échantillons, la distance du trou par rapport à la zone méristématique (jonction entre le stipe et la fronde) était mesurée, la différence entre la position initiale et finale du trou donnant une estimation de la croissance linéaire de la fronde pour la période donnée.

3.0 RÉSULTATS

3.1 DÉVELOPPEMENT DES PLANTULES

L'ensemencement des ficelles de nylon a été réalisé le 10 novembre 2006. Après 20 jours de préculture, la majorité des jeunes sporophytes se distinguaient par une allure effilée (Figure 6A) avec une différenciation peu marquée du stipe. Les crampons, lorsque visibles, étaient correctement développés. Environ cinq semaines (38 jours) après l'ensemencement, les ficelles supportaient une population imposante de sporophytes aux formes souvent irrégulières caractérisées par des étranglements et des courbures inhabituels (Figure 6B). Plusieurs semblaient avoir subi une dépigmentation à la partie distale de la fronde (Figure 6C).

Figure 6. Développement microscopique des sporophytes, A) forme effilée observée environ 20 jours après l'ensemencement B) formes irrégulières et C) dépigmentation observées 38 jours après l'ensemencement.

À la fin de la période de préculture, les côtés des ficelles exposées à la lumière étaient recouverts irrégulièrement de sporophytes (Figure 7A), de sorte que des zones densément colonisées succédaient à d'autres qui l'étaient moins. Les sporophytes mesuraient entre 3 et 7 mm (Figure 7B).

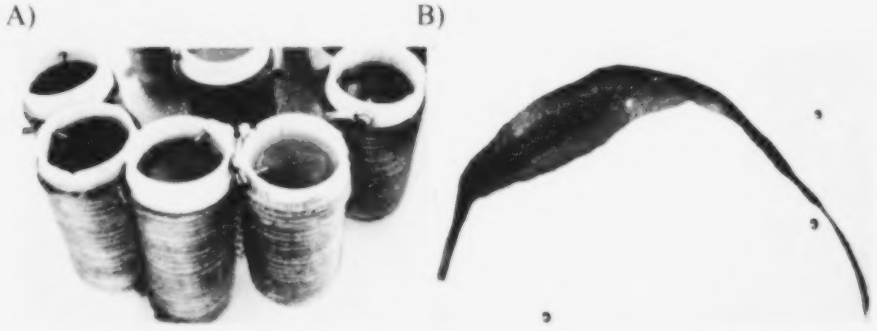


Figure 7. Apparence A) des ficelles 38 jours après l'ensemencement et B) d'un individu d'environ 6 mm. Les frondes des plantules atteignent 3 à 7 mm de longueur.

3.2 Expérience sur la densité

3.2.1 Densité des plants

En décembre 2006, la densité du groupe Faible (111 plants par ficelle) avait été réduite expérimentalement au dixième de celle du groupe Témoin (1100 plants par ficelle). La densité du groupe Intermédiaire (356 plants par ficelle) a été ramenée environ au tiers de celle du groupe Témoin (Tableau 3, Figure 8). L'ANOVA indique que les manipulations ont eu un effet significatif sur la densité des plants (Tableau 4). Les différences entre les groupes sont par contre apparues dépendantes de la période (interaction significative). Les différences entre les 3 groupes sont demeurées significatives de décembre à février.

En mars, la densité du Témoin était toujours significativement plus élevée que celle des groupes Intermédiaire et Faible. Par contre, les densités de ces deux derniers groupes ne différaient entre eux pas de façon significative. La densité du Témoin a diminué de façon significative entre décembre 2006 et janvier 2007, passant de 1 130 à 585 plants par ficelle. Elle est demeurée assez stable entre janvier et mars (545-634 plants par segment). La densité du groupe Intermédiaire était significativement plus faible en mars (232 plants par ficelle) qu'en décembre (356 plants par ficelle). La densité du groupe Faible a varié entre 111 et 182 plants par ficelle au cours de la période. Elle était significativement plus élevée en mars qu'au cours des trois périodes précédentes.

Tableau 3. Nombre moyen (±erreur-type) de plantules de laminaires par segment de ficelle de 5 cm pour chacun des groupes de densité (Témoin, Intermédiaire et Faible) de décembre 2006 à mars 2007. (Le nombre de jours après l'ensemencement est indiqué entre parenthèses). Les colonnes partageant la même lettre (a, b ou c) et les lignes partageant le même chiffres (1, 2 ou 3) ne sont pas différents significativement ($p < 0,05$).

	Témoin	**Densité Intermédiaire**	**Densité Faible**
18 déc. (38 jours)	1 130 ± 222 $^{a\,1}$	356 ± 35 $^{a\,2}$	111 ± 19 $^{a\,3}$
	n=3	n=3	n=3
17 janv. (68 jours)	585 ± 33 $^{b\,1}$	303 ± 16 $^{ab\,2}$	139 ± 19 $^{ab\,3}$
	n=3	n=3	n=3
14 fév. (96 jours)	634 ± 43 $^{b\,1}$	329 ± 26 $^{ab\,2}$	149 ± 18 $^{ab\,3}$
	n=3	n=3	n=3
14 mars (124 jours)	545 ± 17 $^{b\,1}$	232 ± 24 $^{b\,2}$	182 ± 40 $^{b\,2}$
	n=3	n=3	n=3

Tableau 4. Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Période et Densité) sur la densité des plants (nombre/ficelle de 5 cm).

	dl			
Facteur	Num.	Dén.	F	p
Période	3	35	1,57	0,2224
Densité	2	35	145,39	**< 0,0001**
Période x Densité	6	35	4,12	**0,0056**

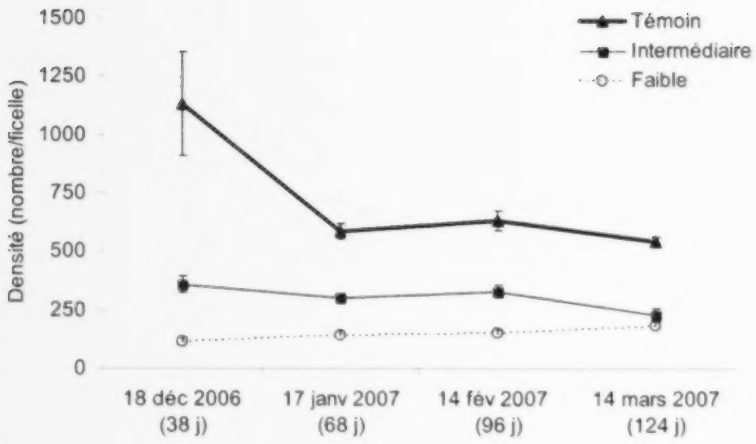


Figure 8. Nombre moyen (±erreur-type) de plantules de laminaires par segment de 5 cm de ficelle pour chacun des groupes de densité (Témoin, Intermédiaire et Faible) de décembre 2006 à mars 2007, soit 38, 68, 96 et 124 jours après l'ensemencement.

3.2.2 Taille des plants

Entre décembre 2006 et mars 2007, il y a eu une croissance significative des plants pour les trois densités. La taille moyenne des plants est passée de 6,7 à 39,3 mm pour la densité Témoin, de 3,8 mm à 55,3 pour le groupe de densité Intermédiaire et de 3,4 mm à 76 mm pour le groupe de densité Faible (Tableau 5). L'analyse de variance indique en effet, un effet significatif de la période sur la taille des plants (Tableau 6). L'effet de la densité des plants sur leur taille est également significatif et à partir de février, soit 2 mois après le début de l'expérience, les plants des groupes Intermédiaire et Faible étaient devenus significativement plus grands que ceux du groupe Témoin. Il n'y avait pas de différence dans la taille des plants des trois groupes en décembre. L'augmentation de la taille s'est accompagnée d'une augmentation de la variation autour de la moyenne. La variabilité dans la taille des plants était très élevée en mars et bien que la moyenne des plants du groupe de densité Faible ait été plus de 20 mm plus élevée que celle de la densité Intermédiaire, la différence ne s'est pas révélée significative.

Les distributions des fréquences de taille montrent un déplacement du mode pour les trois groupes de décembre 2006 à mars 2007 (Figures 10AB). L'étalement de la taille des individus s'est accentué avec le temps pour atteindre son maximum au mois de mars. La longueur des frondes s'étendait alors de 2 à 510 mm pour le groupe Témoin, de 3 à 405 mm et de 2 à 435 mm pour les groupes Intermédiaire et Faible respectivement. En mars 2007, les ficelles étaient recouvertes de plantules couvrant un vaste éventail de longueurs, et ce quelque soit le traitement. La présence constante de petites plantules suggère qu'il pourrait y avoir une émergence continue de petits individus.

Tableau 5. Longueur (mm) des frondes de laminaires (moyenne ± erreur-type) pour chacun des groupes de densité (Témoin, Intermédiaire et Faible) de décembre 2006 à mars 2007. (Le nombre de jours après l'ensemencement est indiqué entre parenthèses). Les valeurs des colonnes partageant la même lettre (a, b ou c) et des lignes partageant le même chiffres (1, 2 ou 3) ne sont pas différents significativement ($p < 0,05$).

	Témoin	**Densité Intermédiaire**	**Densité Faible**
18 déc. (38 jours)	$6,7 \pm 1,7^{a1}$	$3,8 \pm 0,9^{a1}$	$3,4 \pm 0,8^{a1}$
	n=30	n=30	n=30
17 janv. (68 jours)	$10,3 \pm 4,5^{a1}$	$14,0 \pm 5,8^{a1}$	$15,4 \pm 7,8^{a1}$
	n=30	n=30	n=30
14 fév. (96 jours)	$20,4 \pm 16,3^{b1}$	$29,7 \pm 20,4^{b2}$	$20,7 \pm 16,6^{b2}$
	n=40	n=40	n=40
14 mars (124 jours)	$39,3 \pm 46,7^{c1}$	$55,3 \pm 59,0^{b2}$	$76,0 \pm 61,3^{b2}$
	n=40	n=40	n=40

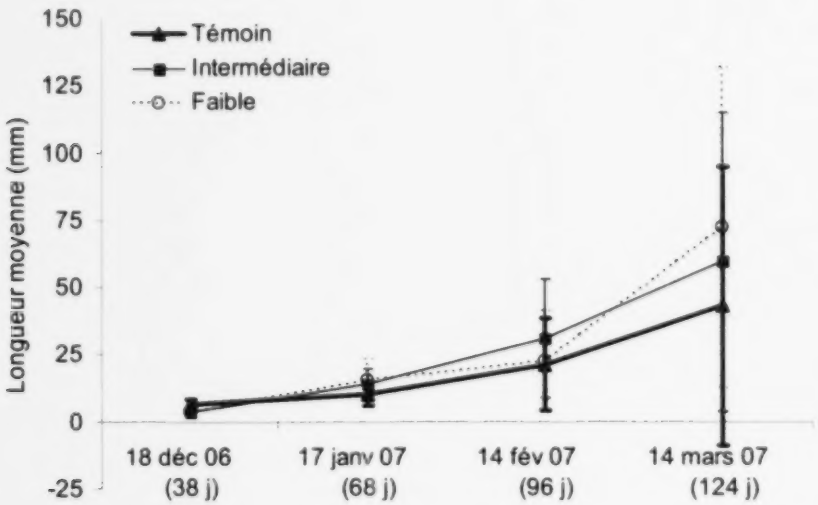


Figure 9. Longueur (mm) des frondes de laminaires (moyenne±erreur-type) pour chacun des groupes de densité (Témoin, Intermédiaire et Faible) de décembre 2006 à mars 2007, soit 38, 68, 96 et 124 jours après l'ensemencement.

Tableau 6. Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Période et Densité) sur la longueur des plants (nombre/ficelle de 5 cm).

	dl			
Facteur	Num.	Dén.	H	p
Période	3	1373	127.0	**<0,0001**
Densité	2	1373	6.82	**0,033**
Période x Densité	6	1373	7.59	0,2697

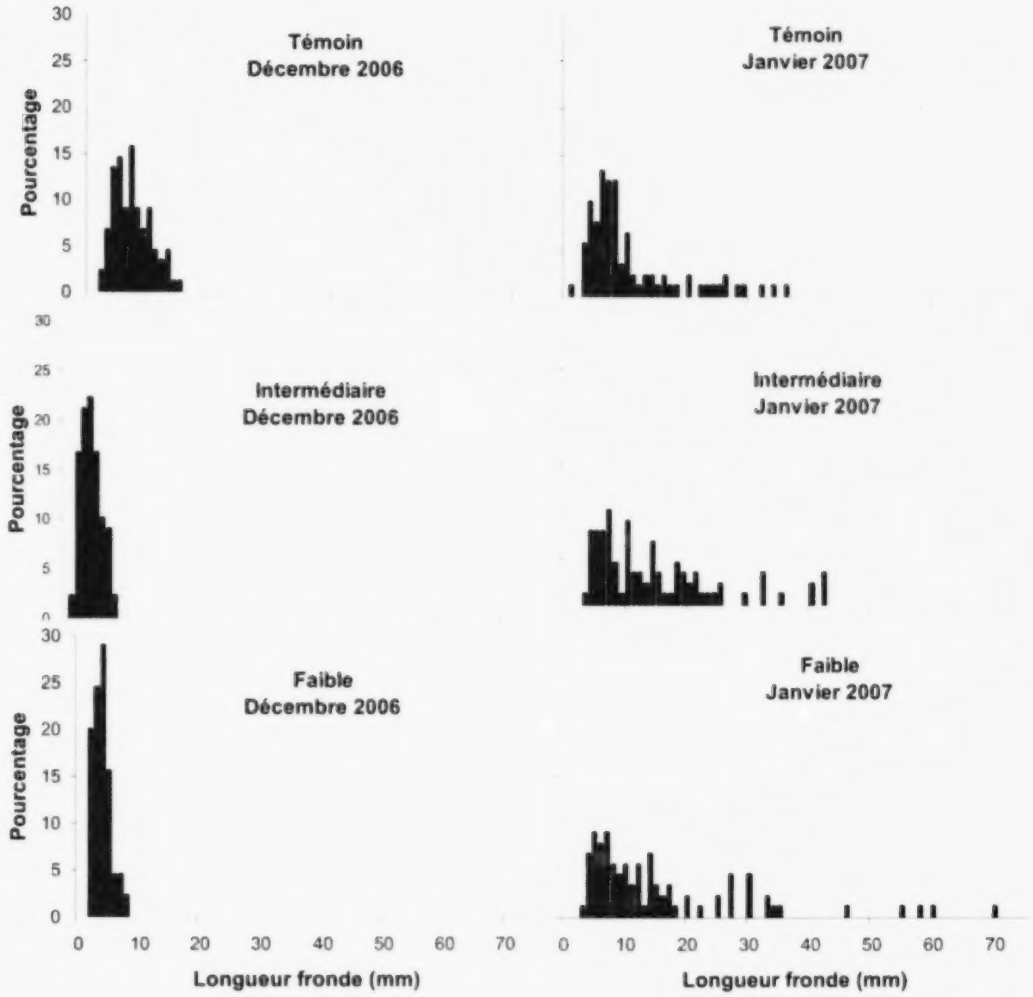


Figure 10A. Distribution des fréquences de taille (en %) (classes de 1 mm) des frondes de laminaires en décembre 2006 et janvier 2007, 38 et 68 jours après l'ensemencement, pour chacun des groupes de densité.

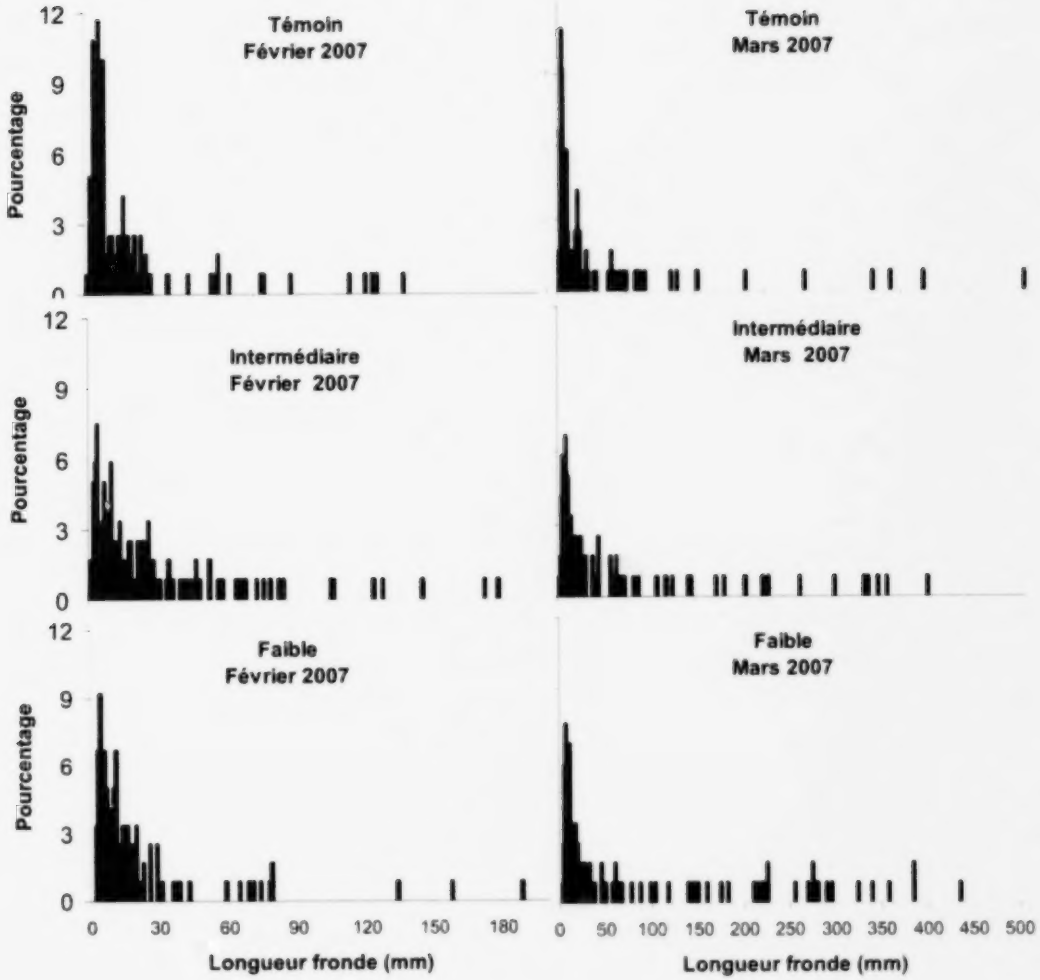


Figure 10B. Distribution des fréquences de taille (en %) (classes de 5 mm) des frondes de laminaires en février et mars 2007, 96 et 124 jours après l'ensemencement, pour chacun des groupes de densité.

3.3 CULTURE EN MER

3.3.1 Variables environnementales aux sites de culture

Température. À Grande-Rivière en 2007, la température de l'eau a varié entre -1 °C, le 11 avril, et 18°C, le 31 juillet (Figure 11A). À partir du 3 août, lorsque la filière a été descendue à 10 m, la température s'est toujours maintenue en dessous de 16°C. Elle était autour de 5°C à la fin des expériences. À Paspébiac, la température sur la filière principale est passée de 5°C au début mai à 20 °C au début d'août (Figure 11B). Les températures de surface (2 m) se sont maintenues autour de 18°C entre le 29 juillet et le 3 août. À partir du 3 août, lorsque la filière a été descendue à 10 m, la température s'est toujours maintenue en dessous de 16°C et était autour de 5°C à la fin des expériences. Les algues cultivées sur la partie inférieure de la corde verticale n'ont jamais été exposées à des températures supérieures à 16°C à l'exception des 2 et 3 août quand la température a dépassé 20°C pendant quelques heures (Figure 11B).

Salinité. Entre avril et novembre 2007, la salinité mesurée à la prise d'eau de mer du CAMGR (7,3 m de profondeur) a varié entre 26,6 et 31,1 (Figure 12A). La salinité a baissé rapidement entre avril et mai pour atteindre un minimum de 26,6 le 11 mai. Ensuite, elle a oscillé entre 27 et 29 jusqu'à la fin du mois d'août. À partir de septembre, les valeurs de salinité ont augmenté pour se stabiliser aux alentours de 30 à la fin septembre. À Paspébiac, entre avril et novembre 2007, la salinité de la couche de surface (1-2 m) a varié entre 24 et 28 tandis qu'à 10 m, elle a varié entre 26 et 30 (Figure 12B). La salinité a baissé rapidement au début du mois de juin pour atteindre un minimum de 24 en surface. À partir de juillet, les valeurs ont augmenté progressivement jusqu'à la fin du mois de novembre.

Sels minéraux dissous. Les concentrations de sels azotés, nitrites (NO_2) et nitrates (NO_3), étaient élevées à Grande-Rivière en avril et mai, avec des valeurs de 6,6 et 3,3 µmole/L respectivement (Figure 13). À partir de juin et jusqu'au 1er août, les concentrations sont demeurées inférieures à 1 µmole/L. À la mi-octobre, les concentrations étaient revenues à des niveaux très élevés, soit 6,5 µmole/L.

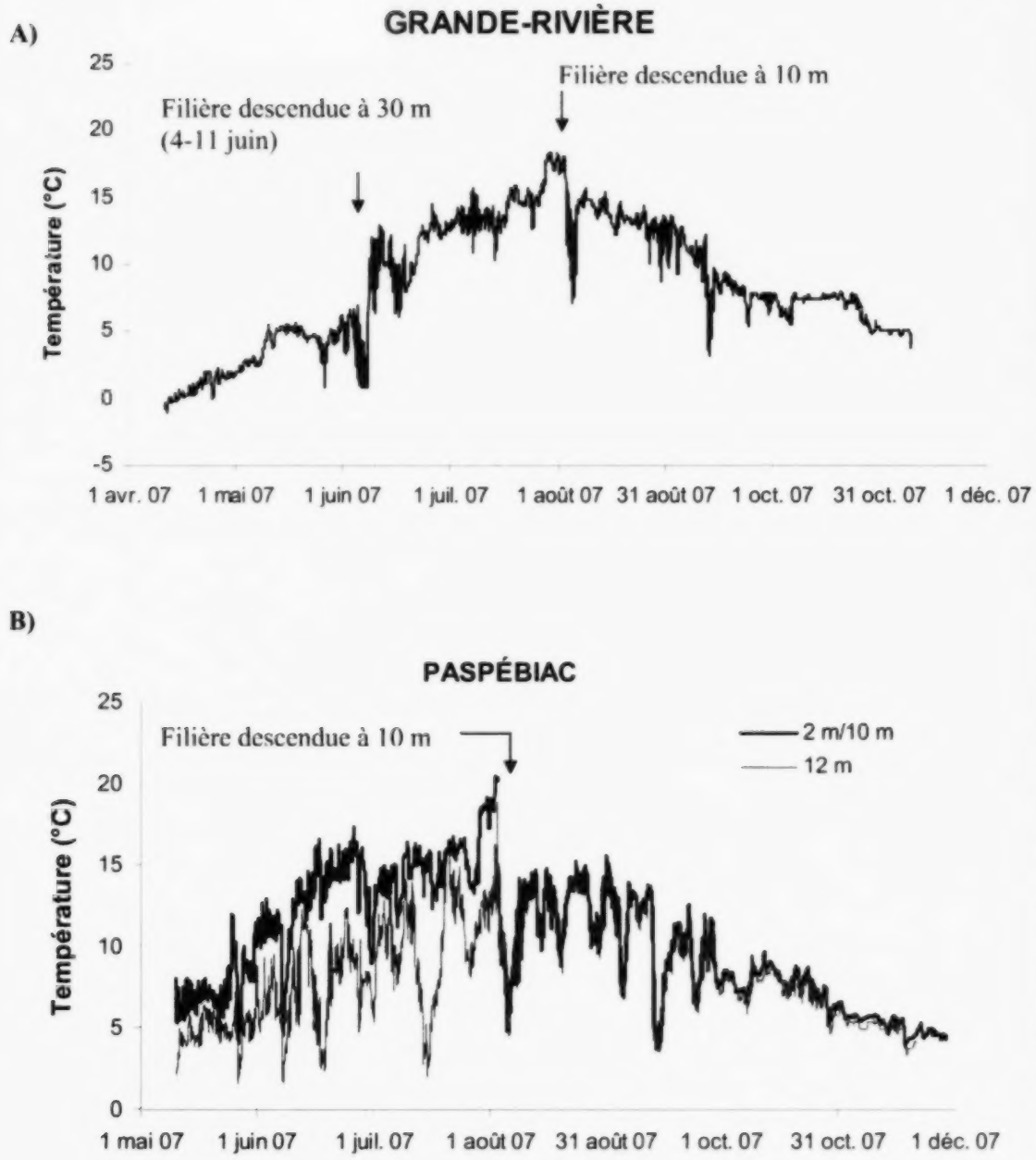
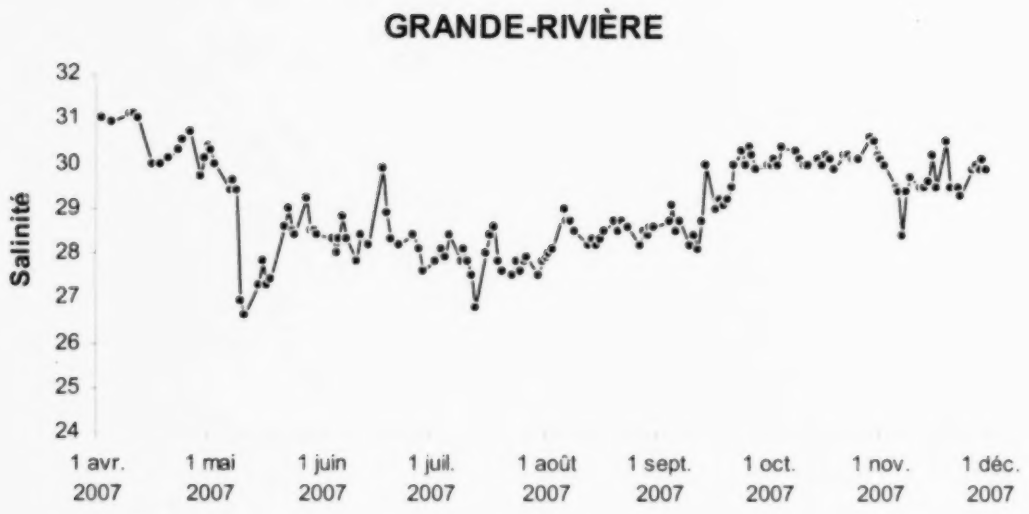


Figure 11. Température enregistrée A) sur la filière de culture de Grande-Rivière et B) sur la filière et au bas de la corde verticale de Paspébiac, entre avril et novembre 2007. (Données horaires lissées).

A)



B)

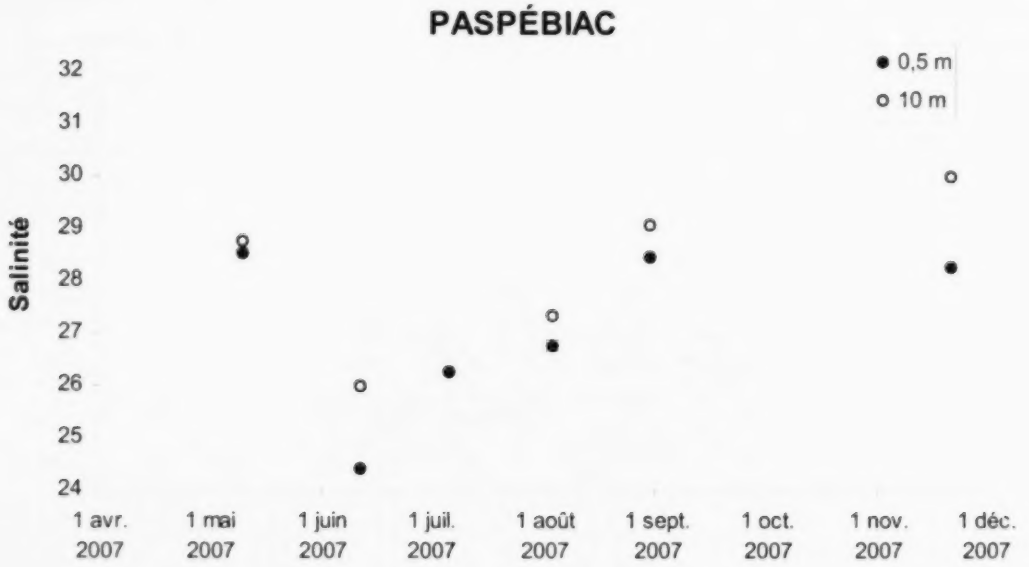


Figure 12. Salinité mesurée A) à la prise d'eau de mer de Grande-Rivière (profondeur 7,3 mètres) et B) sur le site de culture de Paspébiac, entre avril et novembre 2007.

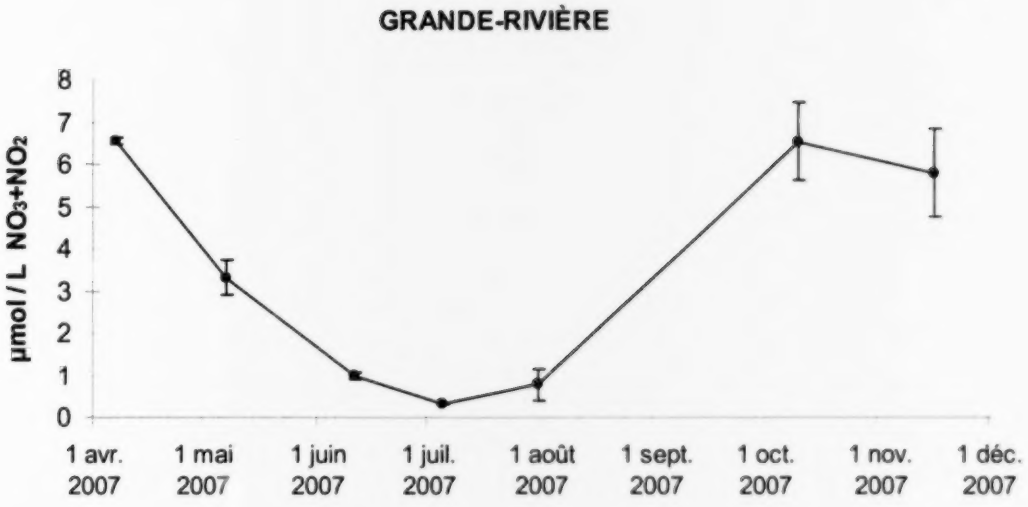


Figure 13. Concentration (moyenne ± erreur-type) de sels nutritifs azotés (nitrites NO_2 et nitrates NO_3) à Grande-Rivière entre avril et novembre 2007.

3.3.2 Densité des plants

En avril 2007, sur la filière de Grande-Rivière, la densité était en moyenne de 49 plants par ficelle (Tableau 7 et Figure 14A). Jusqu'au mois de juillet, la densité moyenne est restée assez proche de la valeur initiale. Une diminution importante de la densité a été observée après le mois de juillet, si bien qu'en octobre, la densité n'était d'environ que de 11 plants par ficelle. Au moment de la récolte finale, en novembre, la densité moyenne était inférieure à 14 plants par ficelle.

Sur la filière de Paspébiac, la densité initiale des plants en avril 2007 était en moyenne de 24 plants par ficelle (Tableau 8 et Figure 14B). La densité est restée assez proche de cette valeur jusqu'au début août. La densité a diminué au cours du mois d'août presque de moitié. Une diminution plus importante de la densité a été observée après le 30 août. Au moment de la récolte finale, en novembre, la densité moyenne n'était que de 2,3 plants par ficelle.

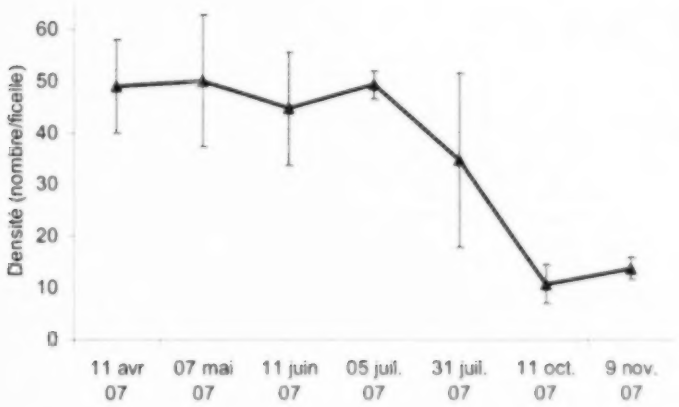
Tableau 7. Nombre moyen (± erreur-type) de plants de laminaires par segment de ficelle de 5 cm sur la filière de Grande-Rivière, entre le 11 avril et le 9 novembre 2007.

	11 avril	07 mai	11 juin	5 juillet	31 juillet	11 oct.	9 nov.
Moyenne ± erreur-type	49±9,1 n=3	50±12,8 n=3	44,7±10,9 n=3	49,3±8,7 n=3	34,7±16,7 n=3	10,7±3,8 n=3	13,7±0,8 n=21
Minimum-Maximum	38-67	25-67	30-66	44-53	5-63	4-17	9-23

Tableau 8. Nombre moyen (± erreur-type) de plants de laminaires par segment de ficelle de 5 cm sur la filière de Paspébiac, entre le 30 avril et le 29 novembre 2007.

	30 avril	12 juin	6 juillet	3 août	30 août	16 oct.	29 nov.
Moyenne ± erreur-type	24±3,6 n=3	44±6,6 n=3	24±3,6 n=3	29,3±1,8 n=3	17,3±5,4 n=3	1,0 n=3	2,3±0,3 n=27
Minimum-Maximum	19-31	31-52	19-31	26-32	11-28	1	1-6

A)



B)

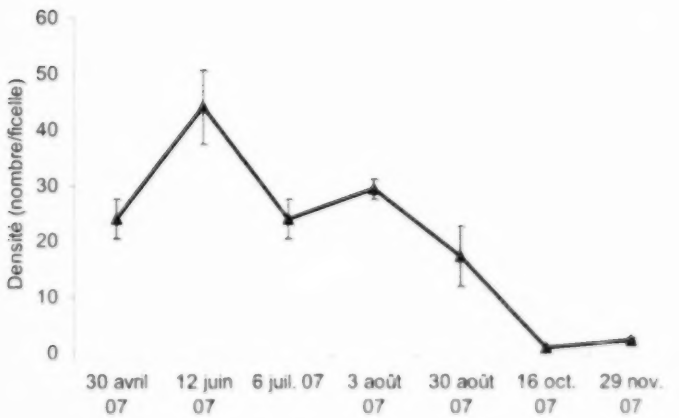


Figure 14. Densité (moyenne ± erreur-type) des plants de laminaires cultivés A) sur la filière de Grande-Rivière et B) sur la filière de Paspébiac entre avril et novembre 2007.

3.3.3 Taille des plants

À Grande-Rivière, la longueur initiale des frondes en avril 2007 était de 15,8 cm en moyenne (Tableau 9 et Figure 15A). L'écart de taille dans la population était alors assez important. La moitié des frondes étaient plus petites que 11 cm alors qu'une fronde avait déjà atteint 93 cm. La distribution des fréquences de taille initiale montre un mode bien prononcé entre 5 et 15 cm (Figure 16). Par la suite, avec le temps, il y a eu un étalement de la distribution des tailles, et à partir de la fin juillet, il n'est plus possible de percevoir de mode net. La taille moyenne a augmenté régulièrement entre avril et la mi-octobre pour diminuer ensuite brutalement en novembre. En novembre, la distribution de taille était au même point que la distribution initiale en avril. En fait, en novembre, seuls des moignons de fronde recouverts de colonies de bryozoaires étaient encore attachés aux stipes (Figure 17). Les frondes les plus longues (± 2 m) ont été mesurées le 31 juillet et le 11 octobre (Tableau 9).

À Paspébiac, la longueur initiale des frondes était de 17,3 cm en moyenne (Tableau 10 et Figure 15B). La moitié des frondes étaient plus petites que 9 cm et la fronde la plus grande dépassait 60 cm. La distribution des fréquences de taille initiale montre un mode bien prononcé entre 5 et 10 cm (Figure 16). La distribution s'est étalée avec le temps, mais la moitié des frondes est toujours restée ≤ 25 cm. La taille moyenne a augmenté lentement entre avril et août. La taille moyenne était élevée en octobre, mais dans ce cas, seulement trois frondes ont pu être échantillonnées. En novembre, la distribution de taille est à nouveau très similaire à la distribution initiale. À ce moment, presque tous les plants avec des frondes >40 cm avaient disparu. Comme à Grande-Rivière, seuls des moignons de fronde recouverts de colonies de bryozoaires étaient encore attachés aux stipes en novembre. Les frondes les plus longues (± 2 m) ont été mesurées au début du mois de juillet (Tableau 10).

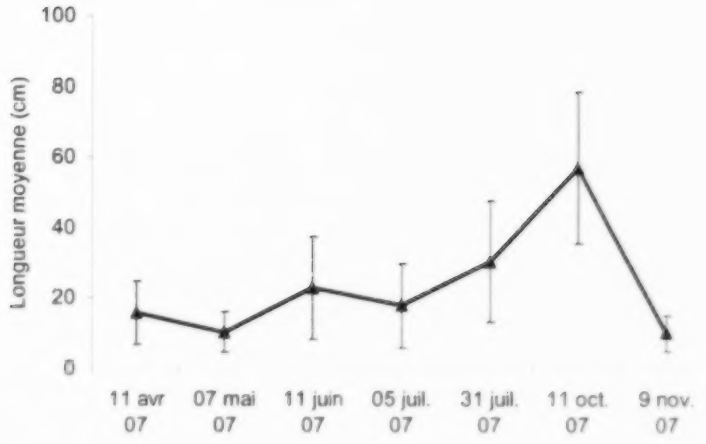
Tableau 9. Longueur (cm) moyenne (± erreur-type) des frondes de laminaires sur la filière de Grande-Rivière, entre le 11 avril et le 9 novembre 2007.

	11 avril	07 mai	11 juin	5 juillet	31 juillet	11 oct.	9 nov.
Moyenne ± erreur-type	15,8±1,3 n=147	10,3±0,8 n=150	22,8±0,5 n=134	17,9±0,6 n=148	30,4±0,4 n=121	57,1±0,2 n=32	10,1±1,3 n=131
Minimum-Maximum	2-93	1-48	3-128	3-129	1,5-210	15-186	1-38

Tableau 10. Longueur (cm) moyenne (± erreur-type) des frondes de laminaires sur la filière de Paspébiac, entre le 30 avril et le 29 novembre 2007.

	30 avril	12 juin	6 juillet	3 août	30 août	16 oct.	29 nov.
Moyenne ± erreur-type	17,3±1,9 n=72	18,5±1,8 n=132	37±4,0 n=72	22,9±2,5 n=88	35,7±4,8 n=52	68,0±20 n=3	19,1±1,7 n=70
Minimum-Maximum	3-62	2-122	5-198	5-120	5-127	47-108	1-85

A)



B)

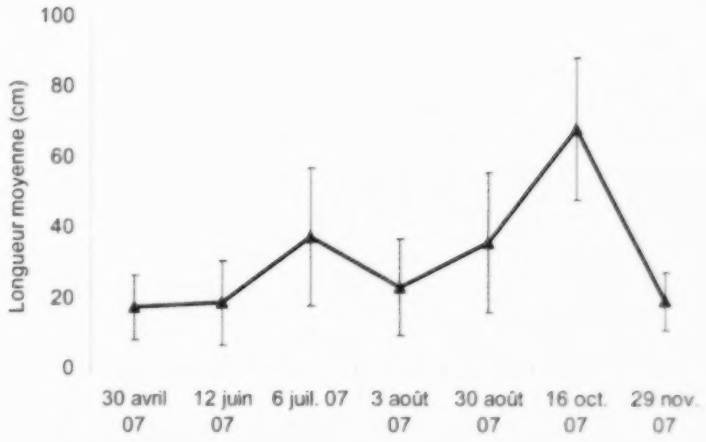


Figure 15. Longueur (cm) (moyenne ± erreur-type) des frondes de laminaires cultivées A) sur la filière de Grande-Rivière, B) sur la filière de Paspébiac entre avril et novembre 2007.

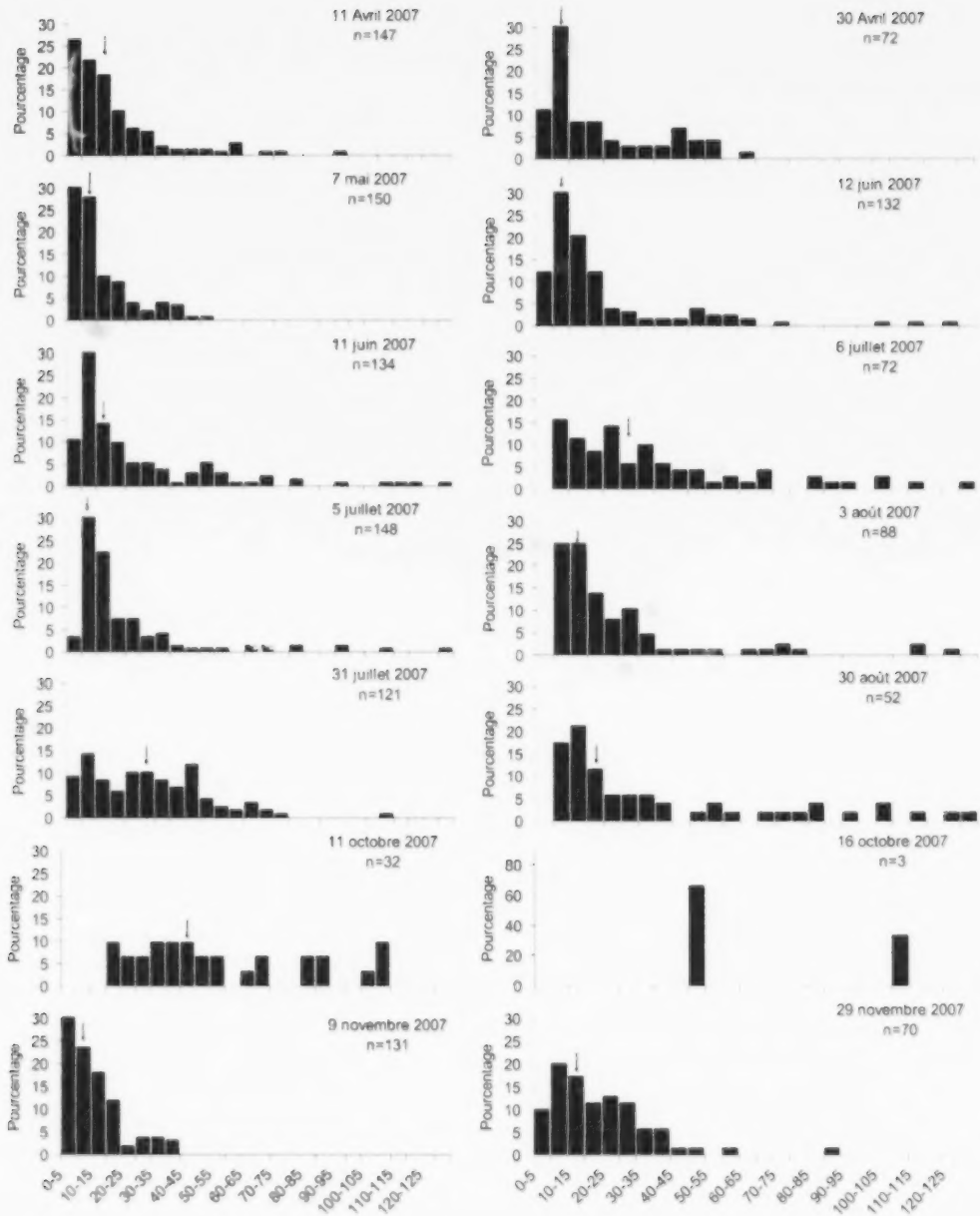


Figure 16. Distribution des fréquences de taille (classes de 5 cm) des frondes de laminaires cultivées sur les filières de Grande-Rivière (gauche) et de Paspébiac (droite) entre avril et novembre 2007. La flèche indique la position de la médiane.

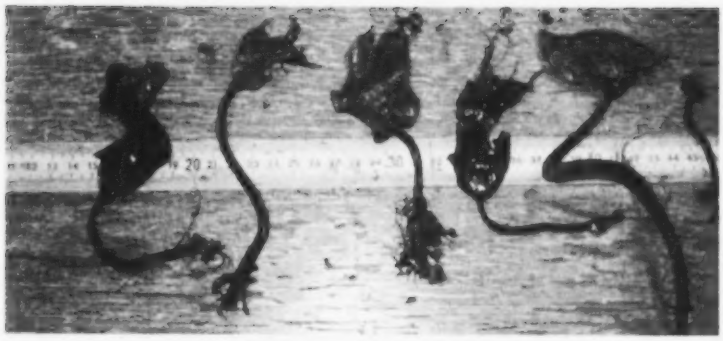


Figure 17. Apparence de laminaires récoltées le 9 novembre 2007 à Grande-Rivière.

3.3.4 Biomasse et rendements

À Grande-Rivière, au moment du transfert en mer, la biomasse végétale humide moyenne était de 81,3 g par ficelle de 5 cm (Tableau 11 et Figure 18A). La biomasse moyenne a augmenté régulièrement pour atteindre un maximum de 508 g en octobre et diminuer ensuite en novembre. Le poids maximum mesuré sur une ficelle a été de 652 g à la fin du mois de juillet et à la mi-octobre 2007.

Sur la filière de Paspébiac, la biomasse initiale moyenne était de 55,6 g (Tableau 12 et Figure 18B). La biomasse moyenne a augmenté régulièrement pour atteindre un maximum de 603 g à la fin du mois d'août et diminuer ensuite en novembre. Le poids maximum mesuré sur une ficelle a été de 754 g à la fin du mois d'août 2007 (Tableau 12 et Figure 18B).

Les biomasses moyennes ont été converties en rendements selon la stratégie de culture qui consiste à insérer des sections de ficelle de 5 cm de long à travers les torons d'une corde de culture, à des intervalles de 10 cm. Les rendements obtenus à Grande-Rivière et à Paspébiac au terme de la saison étaient de 1,7 kg et 1,05 kg par mètre de corde respectivement. Si la récolte avait eu lieu en août, ou en octobre à Grande-Rivière, les rendements aux deux stations auraient été autour de 5-6 kg par mètre de corde.

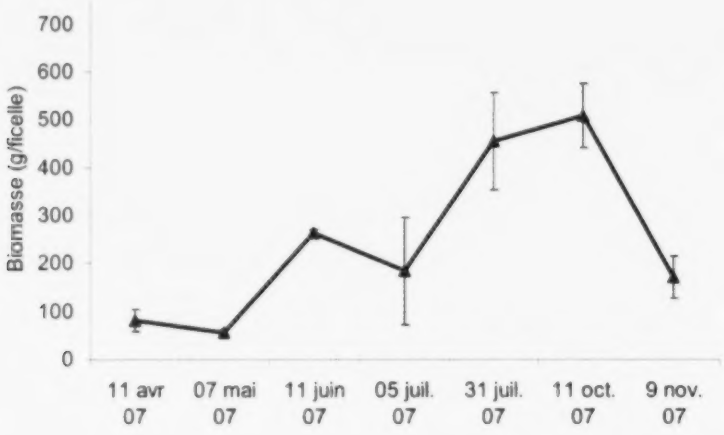
Tableau 11. Biomasse (g) moyenne (± erreur-type) de laminaires par segment de ficelle de 5 cm sur la filière de Grande-Rivière, entre le 11 avril et le 9 novembre 2007.

	11 avril	07 mai	11 juin	5 juillet	31 juillet	11 oct.	9 nov.
Moyenne ± erreur-type	81,3±22,7 n=3	55,6±5,9 n=3	262±7,8 n=3	184±112 n=3	455±100,8 n=3	508±67,4 n=3	171±44,1 n=3
Minimum-Maximum	58-127	45-65	247-272	65-406	320-652	428-642	71-363

Tableau 12. Biomasse (g) moyenne (± erreur-type) de laminaires par segment de ficelle de 5 cm sur la filière de Paspébiac, entre le 30 avril et le 29 novembre 2007.

	30 avril	12 juin	6 juillet	3 août	30 août	16 oct.	29 nov.
Moyenne ± erreur-type	55,6±5,3 n=3	168,2±36,4 n=3	331±92 n=3	294±34 n=3	603±122 n=3	50,9,±24,8 n=3	105±41,7 n=3
Minimum-Maximum	48-66	121-240	149-449	229-341	361-754	18-99	22-385

A)



B)

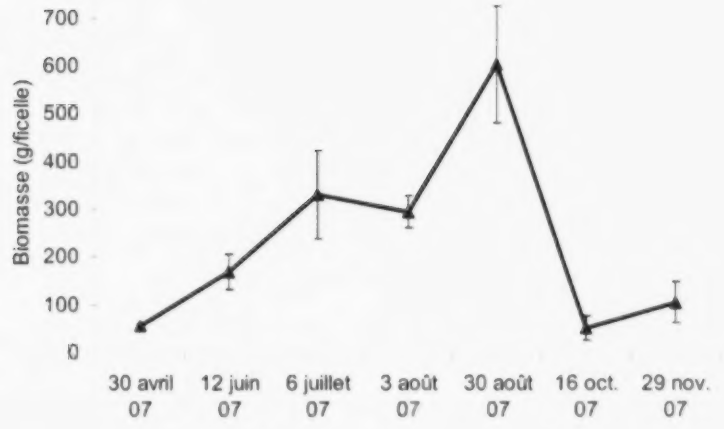


Figure 18. Biomasse humide (moyenne ± erreur-type) des plants de laminaire cultivés A) sur la filière de Grande-Rivière et B) sur la filière de Paspébiac, entre avril et novembre 2007.

3.3.5 Effet de la profondeur

Les cordages installés à Paspébiac à 5 profondeurs différentes ont montré une forte diminution de densité, entre la fin août et octobre et novembre, principalement à 2-3 m et à 10-11 m. La densité observée pendant les quatre premiers mois (fin avril à fin août) se situait entre 7-29 plants, toutes profondeurs confondues (Tableau 13). Au départ, il y avait légèrement moins de plants sur les ficelles situées à 8-9 m. Des diminutions de densité de 84 % et 47 % ont été observées entre les moyennes estivales et automnales. Il n'y a pas eu de changement à 6-7 m alors qu'à 4-5 m et 8-9 m, des diminutions de 33 % et 25 % a été observées respectivement pour les mêmes périodes (Tableau 13).

Pendant la période où la densité est demeurée à peu près constante, soit entre le 30 avril et le 30 août, la taille moyenne des frondes s'est accrue, passant d'une moyenne de 32 cm à des tailles variant entre 76 et 100 cm, entre 6 et 10 m de profondeur (Tableau 14). Les tailles sont restées à peu près inchangées entre 2-5 m. Il est intéressant de voir qu'en date du 30 août, certaines frondes atteignaient des longueurs remarquables, de 213-244 cm entre 6 et 10 m de profondeur. Les frondes situées à plus faible profondeur (2-5 m) ont aussi atteint une longueur de 200 cm, mais au début du mois d'août. En octobre et novembre, alors que la densité avait chuté, on observe encore quelques frondes assez longues, mais ces dernières sont très fragiles et se fragmentent très facilement en raison du fort degré de colonisation par les bryozoaires.

La biomasse a augmenté régulièrement à partir d'avril et dès le 3 août, une biomasse de 3,3 kg a été mesurée sur une ficelle, à 6-7 m de profondeur. Le maximum de biomasse a été atteint au cours du mois d'août à chacune des profondeurs, sauf à 10-11 m où il a été atteint en octobre. Les biomasses n'ont pas dépassé 0,6-0,7 kg entre 2-5 m et 8-9 m, alors qu'elles ont dépassé les 3 kg à 6-7 m et les 2 kg à 10-11 m. (Tableau 15). Ceci se traduit par des rendements de 20-30 kg par mètre de corde.

Tableau 13. Nombre moyen de plants de laminaires par segment de ficelle de 5 cm à différentes profondeurs sur la corde verticale de Paspébiac, entre le 30 avril et le 21 novembre 2007.

Prof.	30 avril	12 juin	6 juil	3 août	30 août	Moyenne Été (avril-août)	16 oct	21 nov.	Moyenne Automne (oct-nov)
2-3 m		13	21	17	10	15,3	4	1	2,5
4-5 m	23	22		13	20	19,5	16	10	13,0
6-7 m		8	13	9	22	13,0	14	12	13,0
8-9 m	12	11	7		10	10,0	4	11	7,5
10-11 m	29				20	24,5	17	6	11,5

Tableau 14. Longueur (cm) moyenne (±erreur-type) des frondes des laminaires sur la corde verticale de Paspébiac, entre le 30 avril et le 21 novembre 2007.

30 avril	Moyenne ±erreur-type *maximum*	32,1±3,3 n=64 112 cm					
Prof.		**12 juin**	**6 juillet**	**3 août**	**30 août**	**16 oct.**	**21 nov.**
2-3 m	Moyenne ±erreur-type *maximum*	39,8±10,1 n=13 *123*	45,7±13,2 n=13 *126*	62,2±12 n=17 *196*	23,4±4,3 n=10 *47*	45,8±16,4 n=4 *94*	90,0 n=1
4-5 m	Moyenne ±erreur-type *maximum*	25,3±6,0 n=22 *97*		79,6±23,4 n=9 *228*	42,2±7,2 n=20 *102*	68,5±12,8 n=16 *200*	27,7±14,8 n=7 *117*
6-7 m	Moyenne ±erreur-type *maximum*	57,4±17,5 n=8 *131*	32±6,7 n=21 *117*	56,4±17,7 n=13 *198*	97±14,1 n=22 *223*	33,3±6,8 n=16 *98*	75,4±15,3 n=7 *155*
8-9 m	Moyenne : ±erreur-type *maximum*	29,6±14,7 n=11 *169*	26,9±8,5 n=7 *74*		76,3±18,5 n=10 *213*	37,8±13,1 n=4 *73*	31,9±7,4 n=11 *76*
10-11m	Moyenne ±erreur-type *maximum*				100,3±12,7 n=20 *244*	72,8±11,3 n=16 *149*	23,4±8,7 n=5 *56*

Tableau 15. Biomasse (g) de laminaires par segment de ficelle de 5 cm sur la corde verticale de Paspébiac, entre le 30 avril et le 21 novembre 2007. Les valeurs maximales pour chaque profondeur sont en gras.

30 avril	162,3±89,6 n=3					
Prof.	**12 juin**	**6 juillet**	**3 août**	**30 août**	**16 oct.**	**21 nov.**
2-3 m	176	256	**706**	157	379	87
4-5 m	162		566	**594**	256	350
6-7 m	192	285	**3320**	2067	211	1631
8-9 m	142	98		**667**	57	323
10-11 m				1391	**2127**	219

3.3.6 Accroissement des frondes

Sur la filière de Grande-Rivière le taux d'accroissement moyen le plus élevé a été observé entre le 7 mai et le 10 juin avec 1,39 cm/jour (Tableau 16). Les taux de croissance mesurés par la suite, alors que les algues se situaient encore à 2 m de profondeur était de 0,83-0,84 cm / jour. Selon ce patron de croissance, une fronde pourrait croître d'une longueur de 1 mètre entre le 1er mai et le 31 juillet. À partir du moment où les algues ont été descendues à 10 m de profondeur, il n'y a eu qu'une seule mesure pour une algue non colonisée par le bryozoaire, soit 0,9 cm/jour pour la période du 10 octobre au 8 novembre. Par comparaison, le taux de croissance moyen de laminaires fortement colonisées par le bryozoaire étaient beaucoup plus faibles, soit 0,12 cm/jour. (Tableau 16).

Sur la filière de Paspébiac, le taux d'accroissement est apparu plus faible qu'à Grande-Rivière, mais le peu de données ne permet pas de généraliser. Au début de l'été, entre le 30 avril et le 11 juin, le taux de croissance moyen était de 0,95 cm par jour. En août, alors que les filières étaient à 10 m de profondeur, l'accroissement moyen était de 0,65 cm par jour. Un plant de laminaire possédant encore un trou a été récupéré le 16 octobre. On a évalué sa croissance ente le 3 août et le 16 octobre (74 jours) à 0,54 cm/jour, pour un accroissement total de 40 cm.

Des mesures d'accroissement ont également été faites sur des algues placées sur la corde verticale (Tableau 18). Les taux de croissance mesurés à 2-3 m entre le 30 avril et le 12 juin (0,88 cm/jour) étaient semblables à ceux mesurés sur la filière horizontale pour la même période. Les observations faites aux autres profondeurs ont varié en moyenne de 0,6 à 0,8 cm/jour et aucune tendance avec la profondeur ne peut être dégagée. On a observé des taux de croissance élevés pour la période du 12 juin au 6 juillet à 6-7 m de profondeur, soit une moyenne de 2,5 cm/jour. Les mesures ont été faites sur 3 plants et ont varié de 2,2 à 2,8 cm/jour. Au cours de cette période de 24 jours, les algues ont cru de 60 cm. La croissance observée en août était de l'ordre de 1,1 cm par jour entre 4-9 m et un peu plus faible à 10 m, soit 0,8 cm/jour. Cette dernière valeur est similaire à ce qui a été observé sur la filière principale (0,65 cm/jour) qui était alors à 10 m au moment de la mesure de la croissance du mois d'août. Des mesures faites le 16 octobre sur 8 plants situés à 10 m suggèrent une légère diminution du taux de croissance entre août et octobre, passant de 0,81 à 0,57 cm/jour. Cette dernière valeur est similaire à ce qui a été mesuré sur la filière principale pour la même période. Les taux de croissance mesurés sur deux plants situés moins profondément (6-9 m) étaient un peu plus élevées (0,96 et 1,32 cm/jour).

Tableau 16. Accroissement linéaire moyen (cm/jour) des frondes de laminaires sur la filière de Grande-Rivière, pour quatre intervalles de temps entre le 11 avril et le 9 novembre 2007 et pour des frondes colonisées par *M. membranacea* (avec bryo).

	7 mai-10 juin (34 jours)	**13 juin-5 juillet (22 jours)**	**5 juillet-31 juillet (26 jours)**	**10 octobre-8 novembre (29 jours)**	**10 octobre-8 novembre (29 jours) (avec bryo)**
Moyenne ± erreur-type	1,39 ± 0,43 n=4	0,83 n=1.	0,84 ± 0,15 n=2	0,90 n=1	0,12 ± 0,04 n=5
Minimum-maximum	0,85-1,82		0,73-0,94		0,03-0,28

Tableau 17. Accroissement linéaire moyen (cm/jour) des frondes de laminaires sur la filière de Paspébiac, pour trois intervalles de temps entre le 30 avril et le 29 novembre 2007.

	30 avril-11 juin (42 jours)	**3 août-30 août (27 jours)**	**3 août-16 octobre (74 jours)**
Moyenne ± erreur-type	0,95 ± 0,3 n=2	0,65± 0,17 n=6	0,54 n=1
Minimum-maximum	0,74-1,17	0,41-0,85	

Tableau 18. Accroissement linéaire moyen (cm/jour) des frondes de laminaires à cinq profondeurs sur la corde verticale de Paspébiac, pour quatre intervalles de temps entre le 30 avril et le 16 octobre 2007.

		30 avril-11 juin (42 jours)	**12 juin-6 juillet (24 jours)**	**3 août-30 août (27 jours)**	**30 août 16 octobre (47 jours)**
2-3 m	Moyenne ± erreur-type Min-max	0,88 ± 0,4 n=2 0,6-1,17			
4-5 m	Moyenne ± erreur-type Min-max	0,74 n=1		1,07± 0 n=2 1,07-1,07	
6-7 m	Moyenne ± erreur-type Min-max	0,79 ± 0,1 n=3 0,69-0,86	2,5 ± 0,29 n=3 2,21-2,79	1,11± 0,24 n=6 0,93-1,44	1,0 n=1
8-9 m	Moyenne ± erreur-type Min-max	1,1 n=1		1,19 n=1	0,96 n=1
10-11 m	Moyenne ± erreur-type Min-max			0,81± 0,22 n=10 0,56-1,26	0,57± 0,1 n=8 0,55-0,72

3.3.7 Apparence des algues

Au moment de la culture en bassin, les frondes des laminaires avaient une couleur vert sombre. Après le transfert en mer, dès le 12 juin, les frondes cultivées en surface à Paspébiac et à Grande-Rivière avaient pris une couleur pâle, jaune-vert, alors que celles cultivés en profondeur sur la corde verticale à Paspébiac étaient restées vert sombre. De la fin août jusqu'au moment de la récolte, en novembre, les algues avaient repris à nouveau une couleur vert sombre.

Le 10 octobre à Grande-Rivière, quelques frondes portaient des traces de sores à leur extrémité terminale. Le 16 octobre à Paspébiac, des sores ont été observées sur trois frondes ≥ 1 m de longueur, cultivées sur la corde verticale, à 10-11 m. Le 21 novembre, à Paspébiac, des sores ont été observées sur une fronde de 1,5 m de longueur cultivée sur la corde verticale, à 6-7 m. Certaines de ces sores étaient recouvertes par des colonies de bryozoaires. Au début de novembre, aux deux sites de culture, beaucoup de plants n'étaient constitués que d'un stipe prolongé par un moignon de fronde (20-30 cm) en mauvais état, entièrement recouvert de bryozoaire, tel que présenté plus haut (Figure 17).

3.3.8 Épibiontes

Au début de juillet, les premières colonies de *M. membranacea* ont été observées sur des frondes cultivées en surface à Grande-Rivière et Paspébiac et à la fin du mois, selon les échantillons, entre 50 et 100 % des plants portaient des colonies de *M. membranacea.* À ce moment, les colonies du bryozoaire recouvraient déjà entre 5 et 100 % de la surface des frondes. À la fin du mois d'août, la majorité des algues étaient porteuses de colonies de *M. membranacea* sur la totalité de la surface de leur fronde, stipe et crampons, y compris les algues cultivés au bas de la corde verticale à Paspébiac (Figure 19A).

Au début de juillet quelques hydrozoaires coloniaux (*Obelia sp.)* ont été observés sur l'extrémité distale des frondes à Grande-Rivière et Paspébiac, y compris sur les algues cultivées à 9 m, au bas de la corde verticale. En octobre, des grappes d'hydrozoaires (*Tubularia larynx*) étaient attachées sur les crampons des laminaires ainsi que sur les colonies de bryozoaires recouvrant les frondes (Figure 19B). Au début d'octobre, quelques étoiles de mer d'une taille de 5 mm et quelques ophiures ont également été trouvées sur les algues de Paspébiac. Le 12 juin, une petite poule de mer (*Eumicrotremus spinosus*) a été trouvée attachée sur une fronde provenant de la filière de Paspébiac.

Au début d'août, les premières moules d'une longueur de 1 mm ont été observées sur les crampons et sur l'extrémité distale des frondes des laminaires de Paspébiac et de Grande-Rivière. En novembre, des moules de 5-10 mm étaient attachées aux crampons des algues. À ce moment, quelques hyatelles attachées aux moules ont aussi été observées sur les laminaires cultivées à 10-11 m, sur la corde verticale. A partir du 16 octobre, jusqu'à la fin novembre, on a commencé à trouver de plus en plus d'escargots de mer herbivore (*Lacuna vincta)* sur les frondes, causant par broutage, de nombreux trous sur les frondes (Figure 19C). Au début novembre on a observé des pontes de *L. vincta* sur les frondes. À la fin novembre, dix nudibranches *Onchidoris muricata* ont été trouvés sur les colonies de bryozoaires de sept algues récoltées sur la filière de Paspébiac (Figure 19D).

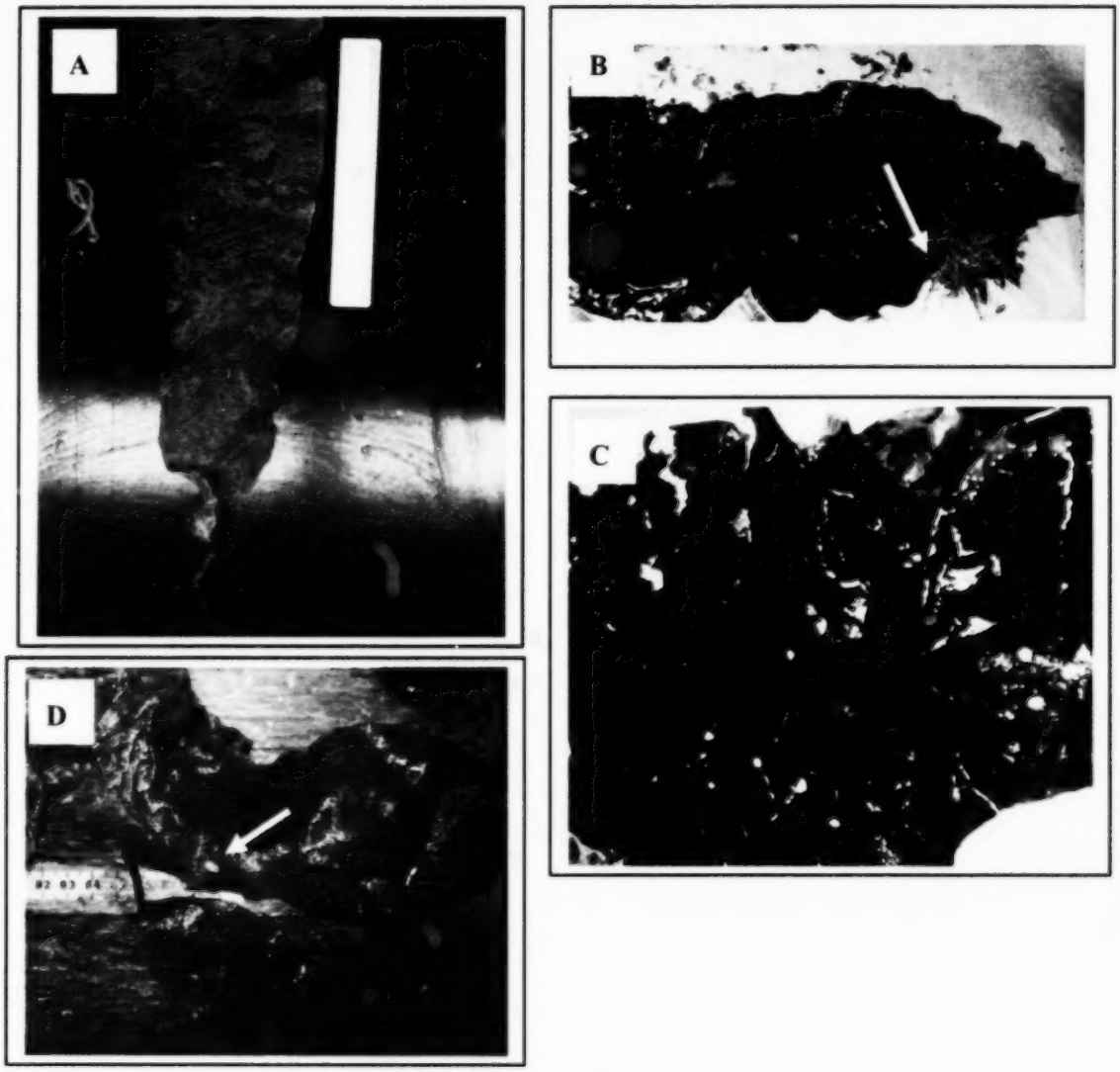


Figure 19. A) Laminaire recouverte de *Membranipora membranacea* (16 octobre 2007, Paspébiac); B) Fronde avec des hydrozoaires (*Tubularia larynx*, flèche) fixés sur une colonie de *M. membranacea.* (16 octobre 2007, Paspébiac); C) Fronde criblée de trous par *Lacuna vincta* (16 octobre 2007, Paspébiac); D) *Onchidoris muricata* (flèche) et groupe d'hydrozoaires attaché sur une fronde couverte de *M. membranipora* (29 novembre 2007, Paspébiac).

4.0 DISCUSSION

4.1 CONTRÔLE DE LA DENSITÉ DES PLANTS PENDANT LA CULTURE EN BASSIN

Les ficelles ensemencées peuvent supporter des densités initiales élevées (>1000 plantules par segment de 5 cm). Dans le groupe témoin de la présente étude, tout comme ce qui a été rapporté par Gendron *et al.* (2007), une importante réduction de la densité (auto-réduction) a été observée avec le temps, jusqu'à un ordre de grandeur après quelques mois. Les manipulations de densité réalisées dans le présent travail, au début dela phase de culture en bassin, ont permis de réduire significativement la densité des plants, à 30 % et 10 % de la densité initiale. Ceci a grandement favorisé la croissance des plants puisque trois mois plus tard, la taille moyenne des frondes aux densités Intermédiaire et Faible était près de deux fois plus grande que celle du Témoin. Une relation inverse entre la taille et la densité des plants était visible en mars. Bien que la taille des plants ait montré une grande variabilité, nos observations tendent néanmoins à confirmer l'hypothèse de départ à l'effet que les plantules de *S. longicruris* ont une meilleure croissance à faible densité, du moins à court terme. Si le transfert en mer avait été fait en mars, les plants sur les ficelles à plus faible densité auraient probablement été avantagés puisqu'ils étaient plus longs. Les différences entre les traitements ne sont apparues que tardivement, soit après 3 mois de culture. Un problème technique a fait que l'expérience a été réalisée à température froide (autour de 2°C). Il est possible que le maintien des cultures à des températures plus élevées, tel que prévu initialement, aurait pu permettre d'observer plus rapidement des différences entre les traitements. Le cas échéant, le contrôle de la densité à l'étape des plantules pourrait permettre d'envisager un transfert en mer plus rapide, et ainsi réduire les coûts reliés à la culture en bassin.

Les manipulations de densité ont cependant été coûteuses en temps et cet élément devra être pris en compte dans l'évaluation des bénéfices d'une réduction de la densité. Une façon probablement plus simple de contrôler la densité au stade des plantules et qui pourrait être intéressante d'explorer dans le futur, est de diluer la solution de spores au moment de l'ensemencement. Stekoll et Page (1990) ont suggéré de limiter la densité des spores à 5-10 000/ml pour *Macrocyctis integrifolia*. Dans d'autres protocoles de culture, il est conseillé de diluer le filtrat de spores jusqu'à ce que, dans un échantillon observé au microscope optique au grossissement 100 X, la densité par champ oculaire soit de 15-20 spores pour *Laminaria japonica* (Scoggan *et al.* 1989) et de 30 spores pour *Undaria pinnatifida* (Pérez *et al.* 1990). Par cette technique, les plantules pourraient aussi être mieux réparties sur les ficelles. Dans l'expérience que nous avons menée, le contrôle manuel de la densité n'a pas donné une distribution homogène des plants sur les ficelles, si bien que la croissance n'a probablement pas été optimale.

Pour la culture de *U. pinnatifida*, Pérez *et al.* (1990) indiquent qu'en absence de contrôle de la densité des plantules, soit avec 30-40 plants par mètre de corde, on obtient au bout de 4-5 mois des plants de 1,5 m de long. Avec un contrôle de la densité à environ 10 individus par mètre de corde, on peut obtenir dans un même intervalle de temps des plants de grande taille, atteignant 3 m de long. Le contrôle de la densité peut aussi se faire plus tard, au moment de la culture en mer. En Asie, pour *U. pinnatifida*, lorsque les plants atteignent 8 cm, l'algoculteur pratique un éclaircissement de façon à ne laisser qu'une plantule tous les 10 cm (Pérez *et al.* 1992). Deux éclaircissements par an sont également

pratiqués sur les cordes de culture de laminaires au Japon pour ne laisser finalement que des groupes de 4 à 5 plants espacés de 30 cm (Anonyme 1990). Par contre, dans des tests menés sur *Laminaria groenlandica* en culture en Colombie-Britannique, on n'a pas observé de bénéfices sur la taille des plants après 9 mois de culture, suite au contrôle de l'espacement des groupes d'algues sur la corde de culture et de la densité des plants à l'intérieur de chaque groupe (Druehl 1981). Le contrôle de la densité à cette étape de la culture pourrait ne pas être nécessaire, selon que l'on veuille optimiser au moment de la récolte, la taille individuelle des plants ou la biomasse totale. Il conviendrait de faire les tests sur l'espèce visée.

4.2 CULTURE EN MER

4.2.1 Densité

L'évolution de la densité observée en 2007 à Paspébiac ressemble à celle observée en 2006 au même site, sur les cordes installées verticalement (Gendron *et al.* 2007). En 2006, la densité est passée d'environ 60 à 10 plantules par ficelle de 5 cm entre mai et octobre. En 2007, au même endroit et pour la même période, la densité est passée d'environ 30 à 2 plantules par ficelle. Pour les deux années, la densité a commencé à diminuer en août. Malgré qu'en 2007 les filières aient été descendues à 10 m sous la surface au début du mois d'août, il y a quand même eu une forte réduction de la densité en octobre et novembre. On a observé la même évolution de la densité à Grande-Rivière en 2007. La densité initiale était cependant beaucoup plus élevée à Grande-Rivière qu'à Paspébiac. Il est possible qu'il y ait eu dans le bassin, un élagage naturel des plants au cours du mois d'avril, entre le 11 et le 30 avril, expliquant pourquoi les ficelles ayant servi pour les expériences de Paspébiac aient été moins denses.

Nous attribuons la perte des laminaires sur les filières de culture principalement à une cassure des plants suite à l'effet nuisible des épibiontes qui ont contribué à augmenter le poids des frondes et à en diminuer la souplesse. L'augmentation de l'intensité et de la fréquence des tempêtes à l'automne a alors contribué à provoquer leur perte.

Il est possible aussi qu'une partie des pertes ait été causée par le détachement des plants en raison d'une mauvaise adhésion du crampon à la corde de culture. Dans bien des cas, malgré que le crampon paraissait bien développé, il semblait n'être attaché qu'à la ficelle d'ensemencement plutôt qu'à la corde de culture. Le développement du crampon et sa force d'adhésion au substrat sont déterminants pour le succès des cultures. En effet, lors de la mise en mer, si la fronde a une taille de 5 mm, elle offre déjà une importante prise au courant. Si le crampon n'est pas solidement ancré, il peut céder et la corde de culture se dénude progressivement. Des expériences menées avec *U. pinnatifida* ont montré qu'en provoquant une agitation progressive de l'eau par bullage durant la culture en bassin, avec une très forte agitation pendant la dernière semaine, il était possible de stimuler la croissance des haptères, ce qui permettait d'augmenter l'adhérence du crampon sur la ficelle et ainsi réduire les pertes lors du transfert en mer (Pérez *et al.* 1990). Dans nos expériences, durant la phase de culture en bassin, un bullage était ajouté afin de favoriser le développement du crampon. Par ailleurs, en Chine, les algoculteurs éviteraient d'utiliser les cordes de couleur claire pour la culture des laminaires car les haptères de *Laminaria japonica* sont photophobes (Scoggan *et al.* 1989). Les surfaces réfléchissantes des cordes réduisent l'adhésion des crampons et favorisent la perte des plants. Nous ne disposons pas d'information sur le caractère photophobe des haptères de

S. Longicruris mais il serait intéressant de voir si des cordes de couleur plus foncée permettraient d'augmenter l'attachement des plants sur les cordes. Un autre élément qui pourrait contribuer à diminuer la perte des plants serait de favoriser un meilleur contact entre la ficelle d'ensemencement qui porte les plantules et la corde de culture. Dans plusieurs expériences de culture réalisées en Europe, on enroule la ficelle d'ensemencement en spirale autour de la corde de culture, plutôt que d'en faire des segments (Pérez *et al.* 1992, Kraan et Guiry 2000). L'enroulement favorise un meilleur contact du crampon avec la corde de culture et donc un attachement plus solide.

Quoiqu'il en soit, la réduction naturelle de la densité des plants de laminaires est un phénomène couramment observé en situation de culture. Ainsi, dans les cultures de *Laminaria digitata*, en France, la densité des algues passe de 200 individus (1-4 mm de longueur)/m de corde au moment de la mise en mer en octobre, à 50-60 individus/m après 12 mois de culture, pour se stabiliser ensuite (Anonyme 1997). Le même phénomène est rapporté pour la culture de *Laminaria saccharina* sur filières en Espagne, avec une densité qui passe de 499 plants/m à 25 plants/m, 13 mois plus tard (Peteiro *et al.* 2006). La culture de *U. pinnatifida* se traduit également par une réduction naturelle de densité qui passe de 300 plantules/m au moment de la mise en mer à 30-40 plants/m au moment de la récolte (Pérez *et al.* 1990).

4.2.2 Taille et accroissement des frondes

En 2007, aux deux sites de culture, on a pu observer en juillet des frondes atteignant une longueur de 2 mètres. Par contre, à mesure que la densité diminuait, la quantité d'algues de grande taille diminuait aussi. Le fait d'avoir immergé les filières à une profondeur de 10 m au début du mois d'août 2007 a probablement permis de réduire ou retarder les bris et/ou l'érosion des frondes en les mettant à l'abri à la fois des mouvements des vagues et des températures élevées de la surface. Néanmoins, à la fin de l'expérience, les tailles moyennes n'étaient pas supérieures aux tailles initiales et la plupart des algues étaient réduites à un moignon de fronde couvert de bryozoaires et de moules. Indépendamment de la présencce d'épibiontes, il est bien connu aussi qu'à la fin de l'été et en automne, les laminaires des herbiers naturels connaissent une diminution de la longueur des frondes lorsque la croissance, alors ralentie, ne compense plus l'érosion de l'extrémité distale (Birkett *et al.* 1998). Des organes fertiles ou sores ont été observées en novembre 2007 sur les plus grandes algues de culture. Chez les laminaires, les températures élevées, les photopériodes de jours longs et les fortes intensités lumineuses entraînent un ralentissement de la croissance et l'apparition des sores chez les individus dont la longueur dépasse 1,3 m (Chapman 1986, Chapman 1987, Pérez *et al.* 1990). Dans la baie des Chaleurs, l'épaississement des tissus à l'emplacement des sores chez *S. longicruris* provoque souvent le bris de la fronde et les tempêtes d'automne causent ainsi l'accumulation de grandes quantités de fragments de sores fertiles sur les plages (E. Tamigneaux, observation personnelle). Durant cette période, on observe également une dégradation importante de l'extrémité distale de la fronde des laminaires (E. Tamigneaux, observation personnelle).

La collecte de données sur l'accroissement linéaire des frondes a été difficile (état de la mer, perte de plants, érosion des frondes, confusion entre les trous percés et ceux formés par le gastéropode herbivore *Lacuna vincta*) si bien que les mesures n'ont été faites que sur un nombre restreint de plants. On constate néanmoins à la lumière des résultats obtenus à

Grande-Rivière que la croissance est plus élevée en début d'été (mai-juin), qu'en milieu d'été (juin-juillet). Ce patron est conforme à ce qui a déjà été rapporté dans la baie des Chaleurs (Gendron 1989). On a observé que la croissance était plus faible par la suite, mais à ce moment, les filières avaient été descendues à une profondeur de 10 m, ce qui pourrait confondre les effets de profondeur avec les effets saisonniers. Les taux d'accroissement mesurés à Paspébiac en août 2007 (0,65 cm / jour en moyenne) alors que les filières avaient été descendues à 10 m étaient similaires à ceux mesurés sur ce même site et pour une période équivalente en 2006, plus précisément sur la filière placée verticalement à 5 m (0,61 cm/jour). Les changements de profondeur au cours de la saison limitent les comparaisons et ne permettent pas de dégager de patron général.

4.2.3 Rendements et calendrier de culture

En 2007, les rendements obtenus au moment de la récolte finale à la fin novembre était inférieurs à 2 kg/mètre de corde aux deux sites de culture, ce qui est comparable aux résultats de 2006 (Gendron *et al.* 2007). En fait, la biomasse sur les filières a culminé en en août (Paspébiac) et juillet et octobre (Grande-Rivière) et si la récolte avait eu lieu à ces moments, les rendements aux deux stations auraient été de 5-6 kg/mètre de corde. La technique de culture qui sera éventuellement adoptée en Gaspésie n'est pas encore arrêtée et il pourrait être envisageable d'utiliser d'autres scénarios tels la réduction de l'espacement des segments de ficelles à 5 cm (plutôt que 10 cm) sur la corde porteuse, ou encore, l'enroulement en spirale de la ficelle (non coupée en segments) portant les algues autour d'une corde de culture. Ces techniques alternatives pourraient potentiellement permettre d'augmenter les rendements par un facteur de deux (20 segments de 5 cm sur une corde de 1 mètre) ou de trois (enroulement de 1,5 mètre de ficelle autour d'une corde de 1 mètre). En supposant une récolte au moment du maximum de biomasse, des rendements de 10-12 kg et de 15-18 kg /mètre de corde, selon la stratégie utilisée pourraient être obtenus. De tels rendements se rapprocheraient alors de ceux rapportés dans la littérature pour différentes espèces de laminaires (Tableau 19).

Les résultats obtenus au cours de ces deux années d'essais suggèrent fortement que, pour optimiser la biomasse exploitable sur ces deux sites, il serait important de récolter en été car la prolongation des cultures plus tard en automne entraîne une perte importante de biomasse et une diminution de la qualité des algues (bryozoaires). En fait, l'algoculteur devra moduler son calendrier de récolte en fonction de ses objectifs. S'il souhaite maximiser la longueur des plants, il peut attendre le début du mois d'octobre pour récolter. S'il souhaite maximiser ses rendements (biomasse et densité) il a avantage à faire sa récolte à la fin du mois d'août, du moins s'il peut tolérer la présence de bryozoaire sur les frondes. Finalement, s'il veut éviter la présence des bryozoaires sur les frondes il devrait idéalement éviter d'avoir des algues dans l'eau entre le début du mois de juillet et la fin du mois d'août. Dans ce cas, un transfert en mer effectué tôt au printemps serait souhaitable de façon à ce que les algues puissent profiter au maximum d'une période de croissance élevée. Il est intéressant de noter que pour plusieurs cultures de laminaires dans l'Atlantique Nord, le cycle de culture en mer commence en automne (octobre-décembre) pour s'interrompre avant le mois d'août (Tableau 19). Ce calendrier de culture vise à profiter de la période de croissance rapide au printemps et d'éviter les effets néfastes combinés de la maturation des sores, de l'érosion accélérée des frondes et des épibiontes qui sont observés à l'automne.

4.2.4 Effet de la profondeur

L'installation d'un surplus de ficelles sur la corde verticale à Paspébiac en 2007 partait d'une intention exploratoire puisque le nombre restreint de ficelles disponibles ne permettait pas une réplication des traitements expérimentaux. Les résultats ont permis toutefois de faire des observations intéressantes qu'il conviendrait cependant de valider lors d'expériences futures.

Tout comme ce qui a été observé sur la filière principale, il y a eu une importante diminution de la densité des plants entre la fin août et octobre et novembre. La diminution a semblé plus prononcée à 2-3 m. Les algues près de la surface ont pratiquement disparu alors que les algues cultivées plus en profondeur semblaient en général avoir subi de moins grandes pertes. La taille des frondes a aussi été plus affectée en surface. Les frondes les plus longues (> 2 m) ont disparu en surface entre le début juillet (filière principale) et le début août (corde verticale 2-3 m) alors qu'on pouvait encore en observer à la fin de l'été entre 4-5 m et 10-11 m sur la corde verticale. En novembre, bien que la taille des frondes ait diminué, on pouvait encore observer quelques grandes algues (> 1 m) à 4-5 m et 6-7 m de profondeur. Il est intéressant de noter que les biomasses les plus élevées (> 3 kg/ficelle de 5 cm), ont été mesurées à 6-7 m alors qu'en surface et à 8-9 m, les biomasses n'ont jamais dépassé 0,7 kg/ficelle. On avait aussi observé en octobre 2006 que la biomasse était plus élevée à 5 m qu'à 2 m (Gendron *et al.* 2007). Les valeurs de croissance les plus élevées (2,5 cm/jour en moyenne) ont d'ailleurs été mesurées en juin sur les plants cultivés à 6-7 m.

Le fait que les laminaires montrent de bons rendements à des profondeurs voisines de 5 m n'est pas surprenant et concorde avec ce qui est connu sur l'étagement des peuplements de laminaires dans nos régions. Sur la côte canadienne de l'Atlantique, *S. longicruris* se retrouve entre 3 et 18 m de profondeur (Mann 1972). Dans la baie des Chaleurs, les herbiers naturels de *S. longicruris* occupent les sites abrités et se retrouvent dans la zone infralittorale jusqu'à 13 m (Gendron 1983, Cardinal 1967).

Chez les laminaires, la photosynthèse est saturée à des intensités lumineuses relativement faibles (Chapman 1987). Les sites de culture testés ici sont caractérisés par une eau relativement claire ce qui se traduit par de bonnes conditions de luminosité au printemps et en été. La profondeur de Secchi mesurée à quelques reprises en 2007 était généralement de 3 à 5 m (données non présentées) et les plongeurs qui ont travaillé sur les sites de culture rapportent que le fond est éclairé à Grande-Rivière (28 m) et à Paspébiac (15 m). Il semble donc que, même à des profondeurs plus grandes que 5 m, les laminaires de culture puissent bénéficier d'un éclairage suffisant.

On observe néanmoins que les cultures de laminaires réalisées notamment en Allemagne, en Irlande, en France et Espagne se font près de la surface. Toutefois, l'essentiel du cycle de culture a lieu entre la fin de l'automne et la fin du printemps, soit lorsque l'éclairement est relativement faible et les températures relativement fraîches (Tableau 19). La culture de *L. groenlandica* en Colombie-Britannique se fait aussi près de la surface mais pour les algues de première année, et seulement pour les mois d'avril et mai. Les algues sont par la suite descendues à 5 m pour le reste de l'année (Druehl 1981).

L'ensemble de ces résultats, bien que préliminaires, suggèrent qu'une stratégie de culture visant à éloigner les algues de la surface en les installant à au moins 5 m sous la surface pourrait présenter de nombreux avantages.

4.2.5 Apparence des algues – coloration et colonisation

La décoloration des frondes observée au début de la période de culture en mer à Grande-Rivière et à Paspébiac indique que les plantes ont subi un stress. Ce phénomène peut avoir été causé par une forte différence d'éclairement entre la culture en bassin et la culture en mer près de la surface. L'exposition soudaine aux rayonnements UV en mer a pu également contribuer au phénomène. L'exposition aux UV-A et aux UV-B cause une réduction de la photosynthèse chez *Laminaria digitata* (Roleda *et al.* 2004, Häder *et al.* 1998). Les plants cultivés en bassin n'ont reçu au plus que 200 µmol m^{-2} s^{-1} alors qu'en mer elles pouvaient être exposées à une luminosité presque cinq fois supérieure près de la surface (Gendron 1985). Pour éviter ce problème, deux stratégies possibles sont proposées par Pérez *et al.* (1992) et Scoggan *et al.* (1989). L'intensité lumineuse (≥ 300 µmol m^{-2} s^{-1} en lumière continue) et l'agitation dans les bassins de préculture peuvent être augmentées durant la dernière semaine de culture pour préparer les plants aux conditions du milieu naturel. L'autre option consiste à immerger les plantules près du fond au moment du transfert en mer et à les remonter ensuite progressivement vers la surface. Il est également possible que la concentration des nutriments dissous dans l'eau de mer ait influencé la coloration des frondes. Lorsque les concentrations de minéraux dissous sont faibles, les laminaires développent une couleur plus pâle et croissent moins vite (Anonyme 1993). Les observations effectuées à Paspébiac et Grande-Rivière montrent qu'en été, les concentrations d'azote diminuent en surface (Gendron *et al.* 2007) et jusqu'à 10 m (Tamigneaux *et al.* 1999).

L'apparence des plants s'est grandement détériorée suite à la colonisation des frondes par le bryozoaire *Membranipora membranacea*. Il n'y a jusqu'à présent aucune étude sur le cycle vital de *M. membranipora* dans les eaux du Québec. Dans les eaux plus chaudes de la Nouvelle-Écosse, par contre, une étude récente a montré que la colonisation des laminaires sauvages par de nouvelles colonies de *M. membranipora* commence au début de juillet et atteint un maximum en septembre-octobre, avec une grande variabilité interannuelle dans l'intensité et dans le calendrier des colonisations (Saunders et Metaxas 2007). La vitesse de croissance des colonies augmente aussi avec la température de l'eau. La colonisation est plus prononcée en profondeur (8-12 m) qu'en surface (4 m) et l'abondance des nouvelles colonies est à son plus bas entre mars et mai. La quantité de bryozoaires sur les frondes est un ordre de grandeur plus élevée lorsque les températures de l'hiver précédent ont été plus douces. En 2007, *M. membranacea* a été observé sur les laminaires aux deux sites de culture. Ceci confirme la récurrence de l'occurrence du bryozoaire au site de Paspébiac et le fait qu'il ne soit pas limité à ce site. Interrogés sur le sujet, les plongeurs sportifs de la région ont mentionné qu'à la fin de l'été, les laminaires entre Carleton et Percé étaient recouvertes par de larges colonies de bryozoaires (E. Tamigneaux, comm. pers.). En 2007, les premiers bryozoaires ont été vus sur les frondes de laminaires au début de juillet. Quatre semaines plus tard, la majorité des algues était infestée sur une partie importante (50-100%) de la surface de leurs frondes. En 2007, les algues qui ont été maintenues à 10 m sous la surface à Paspébiac ont été autant colonisées par le bryozoaire que les plants cultivés sur la filière en surface. La descente des filières à 10 m au début du mois d'août ne semble pas non plus avoir réduit l'infestation des laminaires par le bryozoaire. Par contre, il a semblé que les frondes des algues cultivées entre 8-9 m et 10-11 m, moins exposées aux éléments, étaient moins abîmées à la fin du mois de novembre que celles cultivées près de la surface.

Les principaux prédateurs de *M. membranacea* sont certaines espèces de nudibranches comme *Onchidoris sp* et *Adalaria sp*. Ils se nourrissent d'une grande variété de bryozoaires encroûtants y compris les colonies de *M. membranacea* (Pratt et Grason 2007). En 2007, sur le site de Paspébiac, quelques individus de *Onchidoris* sp. ont été observés sur des frondes infestées de *M. membranacea*. Il sera intéressant de suivre l'évolution de ces prédateurs pour voir comment ils répondront à l'augmentation de cette nouvelle proie et s'ils seront en mesure éventuellement d'en limiter l'expansion.

4.3 CARACTÉRISTIQUES ENVIRONNEMENTALES

Dans l'Atlantique nord, la température optimale de croissance de *S. longicruris* est très étroite et correspond à 10 °C (Tableau 20, Bolton et Lüning 1982, Chapman 1987). La croissance et la reproduction du sporophyte peuvent avoir lieu entre 0 et 18-20 °C (Birkett *et al.* 1998). Des températures supérieures à 23 °C seraient létales aussi bien pour le sporophyte que pour le gamétophyte (Bolton et Lüning 1982, Chapman 1987) alors qu'à 0 °C, la croissance du sporophyte est réduite de 70 % (Chapman 1987). La tolérance à la température peut cependant varier avec la saison et avec le site (Birkett *et al.* 1998, Egan *et al.* 1989). Les deux sites de culture étudiés ici ont un régime thermique assez semblable (Figure 11). Entre avril et novembre, les algues cultivées en surface (1-2 m) n'ont jamais été soumises à des températures excédant la température létale, quoique à la fin juillet, la température à la surface a parfois atteint 20°C pendant plusieurs jours consécutifs, ce qui est très proche de la limite supérieure de tolérance pour cette espèce. En avril, la température de l'eau en surface peut descendre en dessous de 0°C, ce qui ralentit probablement la croissance des algues.

Les laminaires sont considérées comme un groupe relativement sténohalin qui prospère dans des eaux dont la salinité est entre 25 et 32 (Birkett *et al.* 1998). *S. longicruris* est absente des régions côtières où la salinité est inférieure à 20 (Chapman 1987). Les laminaires ne tolèrent pas les grands écarts de salinité et leur croissance peut être affectée par des stress périodiques de salinité (Birkett *et al.* 1998). La côte gaspésienne est caractérisée par une abondance de rivières. À la fonte des neiges, les crues de printemps se traduisent par une baisse importante de la salinité dans la couche de surface (0-10 m) entre avril et juillet (Tamigneaux *et al.* 1995, 1999). Malgré cela, aux deux sites de culture, la salinité s'est toujours maintenue dans la gamme de valeurs optimales pour l'espèce, soit entre 25 et 32.

Les deux sites offrent en général des conditions de salinité, de température et de transparence de l'eau favorables à la culture de *S. longicruris*. Ces conditions sont probablement encore meilleures entre 5 et 10 m de profondeur car moins soumises à des écarts importants.

En ce qui concerne les sels nutritifs azotés, les résultats de la présente étude pour Grande-Rivière et ce qui a été rapporté pour Paspébiac par Gendron *et al.* (2007) montrent que les deux sites présentent les caractéristiques typiques d'une zone côtière tempérée non polluée. Comme cela a déjà été observé auparavant le long de la côte de la baie des Chaleurs (Tamigneaux *et al.* 1995, 1999), le cycle saisonnier dans les eaux de surface est caractérisé par une abondance d'azote au printemps et en automne alors qu'une période de faible concentration de minéraux dissous est observée en été au moment du maximum de la stratification thermohaline saisonnière.

La disponibilité en azote dans l'eau de mer et dans les réserves internes des algues jouent un rôle important dans la croissance de *S. longicruris* (Chapman et Craigie 1977, Gagné *et al.* 1982, Chapman 1987). Dans les milieux où il y appauvrissement en azote (< 0,5 µmole/L) sur de longues périodes (avril à novembre) la croissance de *S. longicruris* est ralentie deux à trois mois plus tard, une fois que les réserves internes en azote des laminaires sont épuisées. Des travaux en laboratoire ont montré que chez cette espèce, une saturation de la croissance n'est observée qu'au delà de 20 µmole NO_3/L (Espinoza et Chapman 1983).

Aux deux sites étudiés, la période de raréfaction en azote dure seulement trois mois si bien que l'effet sur la croissance est limité dans le temps. Les mesures faites en 2006 montrent que le contenu interne en azote chez les laminaires cultivées à Paspébiac atteint un minimum en juillet, ce qui suggère que les algues ont mobilisé leurs réserves pour assurer leur croissance lorsque le milieu était appauvri en azote (Gendron *et al.* 2007). Toutefois, en absence d'expérience spécifique utilisant des transplantations croisées entre des sites riches et pauvres en azote ou la fertilisation artificielle du milieu en azote, il demeure difficile de se prononcer sur le caractère limitant de l'azote pour la croissance de *S. longicruris* pendant la période d'été. Il est intéressant de noter que les laminaires des régions appauvries en azote comme la baie St Margaret's (Nouvelle-Écosse) ont une plus grande capacité d'accumulation d'azote dans leurs tissus et que cette différence est le résultat d'une différentiation génétique (Espinoza et Chapman 1983). Ceci implique qu'un algoculteur aurait probablement intérêt à utiliser pour l'ensemencement, des frondes fertiles provenant d'une région ayant une dynamique saisonnière en minéraux dissous semblable à celle de son site de culture.

Tableau 20. Valeurs optimales, limite supérieure et limite inférieure pour différents paramètres du milieu qui influencent la croissance et la survie du sporophyte et du gamétophyte de *S. longicruris*. N.D. : valeur non disponible.

Paramètres	Sporophyte	Gamétophyte	Références
Temp. optimale de croissance (°C)	10	10	(Bolton et Lüning 1982)
Limite supérieure de température pour la croissance (°C)	18-20	18	(Birkett *et al.* 1998, Egan *et al.* 1989)
Limite inférieure de température pour la croissance (°C)	0	N.D.	(Chapman 1987)
Limite létale supérieure de température (°C)	23	23	(Bolton et Lüning 1982, Chapman 1987)
Salinité optimale de croissance	25-32	N.D.	(Chapman 1987)
Limite supérieure de salinité	N.D.	N.D.	
Limite létale inférieure de salinité	20	17	(Chapman 1987)
Intensité lumineuse de saturation pour la photosynthèse (µE m^{-2} s^{-1})	75-90 (1-15 °C)	N.D.	(Chapman 1987)
Intensité lumineuse de compensation pour la photosynthèse (µE m^{-2} s^{-1})	4-5 (2-5 °C)	N.D.	(Chapman 1987)

5.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les travaux réalisés en 2007 ont permis de démontrer qu'une réduction de la densité des plantules au moment de la culture en bassin a un effet positif significatif sur la taille des plants. Le fait d'atteindre des tailles plus grandes plus rapidement pourrait permettre un transfert en mer plus rapide, réduisant le temps et les coûts de la phase de culture en bassin. La méthode manuelle de réduction de la densité utilisée dans notre expérience devra cependant être revue. Une réduction de la densité par dilution de la solution des spores au moment de l'ensemencement devrait plutôt être envisagée et testée.

Bien que le transfert en mer n'ait pas été devancé autant que prévu, il a néanmoins eu lieu plus tôt qu'en 2006. Les résultats obtenus laissent voir qu'une culture en mer débutée en avril et terminée en août permettrait d'obtenir des rendements intéressants. Il est recommandé de poursuivre l'exploration de différentes fenêtres temporelles de culture, ajustées de façon à bénéficier d'une période de croissance accélérée au printemps, et de manière à éviter la colonisation par les bryozoaires à l'été et l'érosion des frondes à l'automne. Par ailleurs, d'autres techniques de culture (par ex. l'enroulement en spirale de la ficelle autour la corde de culture) pourraient vraisemblablement permettre d'augmenter les rendements et devraient être expérimentées.

Les observations indiquent qu'il serait avantageux d'installer les filières de culture en dessous de 5 mètres de profondeur. En plus d'avoir de bons taux de croissance et des rendements élevés, cette stratégie permettrait de réduire l'érosion, les bris et le détachement des frondes dus à l'agitation des eaux en surface (ou des glaces en hiver), et de réduire les risques que les algues soient soumises à des conditions de température et de salinité défavorables qui sont plus susceptibles d'être rencontrés dans les eaux de surface. Une telle stratégie réduirait aussi l'accumulation des salissures sur les filières et sur les algues, donc le coût relié aux opérations d'entretien.

Les travaux de 2007 ont montré que l'occurrence du bryozoaire était récurrente sur le site de Paspébiac et que le site de Grande-Rivière n'en était pas épargné. Le bryozoaire colonise les algues autant en surface qu'en profondeur (10-11 mètres). Il ne semble pas y avoir de profondeur refuge pour éviter la colonisation des laminaires. Une fois colonisées, les algues montrent une importante diminution de leur croissance. Les algues situées en profondeur sont moins soumises au brassage turbulent par les vagues que celles en surface et l'impact de la présence de bryozoaires sur la survie des plants se fait sentir un peu plus tardivement. La présence du bryozoaire constitue l'élément majeur à considérer pour assurer le succès d'une culture de laminaires et il est impératif d'ajuster le calendrier de culture de façon à minimiser voire éviter la colonisation des algues par ce bryozoaire.

Les deux sites de culture étudiés ont des caractéristiques biophysiques relativement semblables et sont propices à la culture de *S. longicruris* sur filière. La réduction des sels azotés au cours de l'été amène cependant une réduction temporaire de la croissance.

La culture de laminaires est une activité nouvelle au Québec. Les travaux réalisés en 2007 ont permis de répondre à un certain nombre de questions soulevées suite aux premiers essais réalisés en 2006. De nombreuses questions restent encore à résoudre et devraient faire l'objet d'études supplémentaires en ligne avec les suggestions présentées ci-dessus.

6.0 REMERCIEMENTS

Ce projet de recherche a été réalisé grâce au Programme coopératif de recherche et de développement en aquaculture (PCRDA) en collaboration avec la Société de développement de l'industrie maricole (SODIM) et l'entreprise Les Gaspésiennes inc. Les auteurs remercient M. Raymond Ferembach et Mme Gisèle Ferembach de l'entreprise Les Gaspésiennes inc. pour leur implication et leur soutien à toutes les étapes du projet. Les auteurs remercient grandement Pierre Gauthier pour la réalisation des manipulations et la saisie des données de l'expérience sur l'effet de la densité des plantules. Nous remercions également les plongeurs M. Laurent Ides, M. Georges Mamelonnet et son équipe ainsi que M. Denis Caissy pour leurs interventions sous-marines. Le projet a été réalisé avec le soutien technique des chargés de projet et des techniciens de Halieutec : Mme Marie-Joëlle Leblanc, MM. Jérôme Laurent, Daniel Bourdages, Ian Beaudin, Jean-Gilles Lelièvre, Guyslain Méthot et Richard Méthot. Nous remercions également Mmes Brigitte Mercier, Katy Cauvier et Isabelle Langlois, étudiantes du DEC en techniques d'aquaculture de l'ÉPAQ qui, dans le cadre de leur formation, ont apporté leur contribution à diverses étapes du projet. Le manuscrit a bénéficié des commentaires constructifs de Simona Motnikar et Madeleine Nadeau qui ont aimablement accepté d'en assurer la révision.

7.0 RÉFÉRENCES

Anonyme. 1990. Seaweed culture in Japan, Yamaha Fishery Journal 31: 1-6.

Anonyme. 1991. Étude de faisabilité d'une exploitation commerciale d'algues marines macroscopiques sur la Basse Côte Nord du Québec. Programme d'essai et d'expérimentation halieutique et aquicole. Rapport final N° 734 produit par Comité local des pêcheurs de Harrington Harbour avec la collaboration de Roche Environnement. 47 p.

Anonyme. 1993. Projet d'étude de faisabilité technique et économique de la culture d'algues alimentaires aux Iles-de-la-Madeleine. Programme d'essai et d'expérimentation halieutique et aquicole. Rapport final N° 429 produit par Pêcheries Hubert Inc. en collaboration avec Technomar Canada. 106 p.

Anonyme. 1997. Développement de la culture des algues. Premiers essais de culture en mer de *Laminaria digitata* et production expérimentale de plantules en écloserie. Centre d'étude et de valorisation des algues (Pleubian, France). 12 p.

Birkett, D. A., C. A. Maggs, M. J. Dring et P. J. S. Boaden. 1998. Infralittoral reef biotopes with kelp species (volume VII). An overview of dynamic and sensitivity characteristics for conservation management of marine SACs. Scottish association of marine science (UK Marine SACs Project). 117 p.

Bolton, J. J. et K. Lüning. 1982. Optimal growth and maximal survival temperatures of Atlantic *Laminaria* species (Phaeophyta) in culture. Marine Biology 66: 89-94.

Buck, B. H. et C. M. Buchholz. 2004. The offshore-ring: a new system design for the open aquaculture of macroalgae. Journal of Applied Phycology 16: 355-368.

Cardinal, A. 1967. Inventaire des algues marines benthiques de la baie des Chaleurs et de la baie de Gaspé (Québec). I. Phéophycées. Naturaliste canadien 94: 233-271.

Chapman, A.R.O. 1986. Age versus stage: an analysis of age- and size-specific mortality and reproduction in a population of *Laminaria longicruris* Pyl. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 97-2: 113-122.

Chapman, A. R. O. 1987. The wild harvest and culture of *Laminaria longicruris* in eastern Canada. *In*: Doty, M. S., J. F. Caddy, B. Santelices (Eds.), Case studies of seven commercial seaweed resources. FAO Fisheries technical paper - T281, FAO, Rome. 311 p.

Chapman A.R.O. et J.S. Craigie. 1977. Seasonal growth in *Laminaria longicruris* : relations with dissolved inorganic nutrients and internal reserves of nitrogen. Marine Biology 40: 197-205.

Chopin, T., S. Robinson, M. Sawhney, S. Bastarache, E. Belyea, R. Shea, W. Armstrong, I. Stewart et P. Fitzgerald. 2004. The AquaNet integrated multitrophic aquaculture project: rationale of the project and development of kelp cultivation as the inorganic extractive component of the system. Bull. Aquacul. Assoc. Canada 104-3: 11-18.

Druehl, L. D. 1981. The development of an edible kelp culture technology for British Columbia. III. Third annual report. Marine Resource Branch, Ministry of environment, province of British Columbia. 43 p.

Egan, B, A.Vlasto, et C.Yarish. 1989. Seasonal acclimation to temperature and light in *Laminaria longicruris* de la Pyl. (Phaeophyta). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 129 (1): 1-16.

Espinoza J. et A.R.O. Chapman. 1983. Ecotypic differentiation of *Laminaria longicruris* in relation to seawater nitrate concentration. Marine Biology 74: 213-218.

Gagné J.A., K.H. Mann et A.R.O. Chapman. 1982. Seasonal patterns of growth and storage in *Laminaria longicruris* in relation to differing patterns of availabilty of nitrogen in the water. Marine Biology 69: 91-101.

Gendron, L. 1983. Inventaire des populations de Laminaires de la baie des Chaleurs (secteur Caps noirs - Pointe Bonaventure). Cahier d'information N° 111. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction de la recherche scientifique et technique. 52 p.

Gendron, L. 1985. Étude de la croissance de *Laminaria longicruris* dans la baie des Chaleurs. Cahier d'information N° 113. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction de la recherche scientifique et technique. 37 p.

Gendron, L. 1987. Détermination d'un niveau de récolte admissible de laminaires *Laminaria longicruris* dans la Baie des Chaleurs, Québec. CSCPCA, document de recherche 87/8. 21 p.

Gendron, L. 1989. Seasonal growth of the kelp *Laminaria longicruris* in Baie des Chaleurs, Québec, in relation to nutrient and light availability. Botanica Marina 32: 345-354.

Gendron, L. et P. Bergeron. 1988. Détermination d'un niveau de récolte admissible de l'algue brune *Ascophyllum nodosum* sur la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent (Anse-au-Persil, Saint-Fabien-sur-Mer et Métis). CSCPCA, document de recherche. 88/15. 23 p.

Gendron, L., P. Gauthier et G. Savard. 2007. Expériences préliminaires de culture de l'algue brune *Laminaria longicruris* en laboratoire et en mer au large de Paspébiac (Québec) en 2006. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2731. 53 p.

Häder, D.-P., H.D. Kumar, R.C. Smith et R.C. Worrest. 1998. Efects on aquatic ecosystems. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 46: 53–68.

Kaas, R. et R. Pérez. 1990. Study of the intensive culture of *Undaria* on the coast of Brittany. *In*: FAO, Fisheries and aquaculture department (Éd.), Technical resource papers. Regional workshop on the culture and utilization of seaweeds. Volume II, 180 p.

Kraan, S. et M. D. Guiry. 2000. Phase II: Strain hybridization field experiments and genetic fingerprinting of the edible brown seaweed *Alaria esculenta*. 33 p.

Lambert, E., A. Lavoie et J.-M. Dubois. 1984. Télédétection des algues marines des côtes du Québec: I - bibliographie mondiale annotée. Cahier d'information N° 112. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction de la recherche scientifique et technique. 44 p.

Lavoie, A., E. Lambert, D. Clavet, J. M. M. Dubois, L. Gendron et J. Lacroix. 1985. Télédétection des algues marines des côtes du Québec: II - localisation et essai d'évaluation de la biomasse par photo-interprétation. Cahier d'information N° 114. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction de la recherche scientifique et technique. 31 p.

Mann, K. H. 1972. Ecological energetics of the seaweed zone in a marine bay on the Atlantic coast of Canada. I. Zonation and biomass of seaweeds. Marine Biology 12: 1-10.

Marsot, P. et R. Fournier. 1992. Faisabilité biologique de la reproduction de *Laminaria longicruris* et de la croissance des jeunes sporophytes en laboratoire. Dans "Projet d'étude de faisabilité technique et économique de la culture d'algues alimentaires aux Îles-de-la-Madeleine. Programme d'essai et d'expérimentation halieutique et aquicole. Rapport final N° 429 produit par Pêcheries Hubert Inc. en collaboration avec Technomar Canada. 106 p.

Pérez, R., R. Kaas, O. Barbaroux, S. Arbault, N. Le Bayon et J. Y. Moigne. 1990. Technique de culture pour les côtes bretonnes de l'algue alimentaire *Undaria pinnatifida*. Tableau de marche - Étude économique. IFREMER, Nantes. 65 p.

Pérez, R., R. Kaas, F. Campello, S. Arbault et O. Barbaroux. 1992. La culture des algues marines dans le monde. Editions IFREMER. 613 p.

Peteiro, C., J. M. Salinas, O. Freire et C. Fuertes. 2006. Cultivation of the autoctonous seaweed *Laminaria saccharina* off the Galician coast (NW Spain): production and features of the sporophytes for an annual and biennial harvest. Thalassas 22: 45-53.

Pratt, M.C. et E. W. Grason. 2007. Invasive species as a new food source: does a nudibranch predator prefer eating an invasive bryozoa ? Biol Invasions 9: 645-655.

Ridler, N., B. Robinson, T. Chopin, S. Robinson et F. Page. 2006. Development of integrated multi-trophic aquaculture in the Bay of Fundy, Canada: a socio-economic case study. World Aquaculture 37: 43-47.

Roleda, M.Y., W.H. van de Poll, D. Hanel et C. Wiencke. 2004. PAR and UVBR effects on photosynthesis, viability, growth and DNA in different life stages of two coexisting Gigartinales: implications or recruitment and zonation pattern. Marine Ecology Progress Series 281: 37–50

Saunders, M. et A. Metaxas. 2007. Temperature explains settlement patterns of the introduced bryozoan *Membranipora membranacea* in Nova Scotia, Canada. Marine Ecology Progress Series 344: 95-106.

Scoggan, J., Z. Zhimeng et W. Feiju. 1989. Culture of kelp (*Laminaria japonica*) in China. RAS/86/024, FAO training manual 89/5, FAO, juin 1989, 204 p.

Stekoll, M.S. et V. E. Page. 1990. Cultivation of *Macrocystis integrifolia* (Laminariales, Phaeophyta) in southeastern Alaskan waters. Hydrobiologia 204/205: 445-451.

Tamigneaux, E., L. Legendre, B. Klein et M. Mingelbier. 1999. Seasonal dynamics and potential fate of size-fractionated phytoplankton in a temperate nearshore environment (Western Gulf of St Lawrence, Canada). Estuarine, Coastal and Shelf Science 48: 253-269.

Tamigneaux, E., E. Vazquez, M. Mingelbier, B. Klein et L. Legendre. 1995. Environmental control of phytoplankton assemblages in temperate nearshore waters, with special emphasis on phototrophic ultraplankton. Journal of Plankton Research 17: 1421 -1447.

Vincent, X. 1993. Étude de préfaisabilité de la culture de laminaires dans la baie des Chaleurs: adaptation des techniques de laboratoire d'algoculture du centre IFREMER Nantes (France). Innomer. 38 p.

Werner, A., D. Clarke et S. Kraan. 2006. Strategic review of the feasability of seaweed aquaculture in Ireland. Marine Institute. 119 p.

Zar, J.H. 1984. Biostatistical analysis. Dexième édition. Englewood Cliffs, N.J. 718 p.

Tableau 19. Comparaison des calendriers de culture, de la taille à la mise en mer et des rendements à la récolte pour différentes espèces de laminaires cultivées dans l'hémisphère nord.

Espèce	Pays - région	Période de culture	Durée de culture en mer (mois)	Taille à la mise en mer (mm)	Biomasse humide/mètre linéaire de filière (kg / m)	Références
Saccharina longicruris	Paspébiac (Québec) [a]	Mai-août	4	85	5-6 (potentiel 15-18)	Cette étude
Saccharina longicruris	Grande-Rivière (Québec) [a]	mi-avril-juillet	3 1/2	110	5-6 (potentiel 15-18)	Cette étude
Saccharina longicruris	Paspébiac (Québec) [a]	Mai-octobre	6	5-6	1,7	(Gendron *et al.* 2007)
Laminaria saccharina	Baltique (Allemagne) [b]	Janvier-juin	6	10	4	(Buck et Buchholz 2004)
Laminaria saccharina	Baie de Fundy [b] (Nouveau-Brunswick)	Novembre-juillet	7-9	0,5-1	8 à 20	(Ridler *et al.* 2006)
Laminaria saccharina	Galicie (Espagne) [b]	Février-mai	4	2-4	6	(Peteiro *et al.* 2006)
Laminaria digitata	Bretagne (France) [b]	Octobre-juillet	21	1-4	13	(Anonyme 1997)
Laminaria digitata	Bretagne (France) [b]	Octobre-octobre	12	1-4	10	(Anonyme 1997)
Laminaria digitata et Laminaria hyperborea	Irlande [b]	Octobre-octobre	12	N.D.	10-20	Irish seaweed centre
Laminaria sp.	France	N.D.	N.D.	N.D.	5	(Vincent 1993)
Alaria esculenta	Irlande [b]	Novembre-avril	6	1-2	7-45	(Kraan et Guiry 2000)
Alaria esculenta	Irlande	N.D.	5	N.D.	3-5	(Werner *et al.* 2006)
Undaria pinnatifida	France [a]	Octobre-janvier	5	N.D.	10-20	(Pérez *et al.* 1990)
Undaria pinnatifida	N.D. [a]	Décembre-avril	5	3-5	11-12	(Pérez *et al.* 1992)

Note : [a] segments de ficelle insérés dans les torons de la corde de culture [b] ficelle enroulée en spirale autour de la corde de culture.